This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

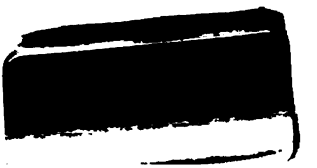
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

Library
of the
University of Wisconsin



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Die

magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen,

ihre Construction und praktische Anwendung

zur

elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung.

Dargestellt

von

Dr. H. Schellen,

Director des Realgymnasiums zu Köln a. D., Ritter des Rothen Adler-Ordens III. Cl. mit der Schleife, des Königlichen Haus-Ordens von Hohenzollern, des russischen St. Annen-Ordens III. Cl., des K. K. Oesterreichischen Franz Joseph-Ordens und des Ordens der italienischen Krone.

Mit 433 in den Text eingedruckten Abbildungen.

Dritte, unter Mitwirkung des **Dr. Victor Wietlisbach,**
Docenten der Elektrotechnik am eidgenössischen Polytechnicum zu Zürich,
bearbeitete und sehr vermehrte Auflage.

Köln, 1884.

Verlag der M. DuMont-Schauberg'schen Buchhandlung.

Druck von M. DuMont-Schauberg.

Digitized by Google

Alle Rechte vorbehalten.

Digitized by Google

77988
APR 5 1904
TO
SCH2

6972799

Vorwort.

Wir glauben die vorliegende neue Auflage nicht besser einleiten zu können, als durch Hinweisung auf das Vorwort zur zweiten Auflage, in welchem wir eine Uebersicht über die geschichtliche Entwickelung der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen gaben.

Der gewaltige Fortschritt, den die Anwendung dieser Maschinen zur Beleuchtung und Kraftübertragung in der neuesten Zeit gemacht hat, zeigte sich in umfangreichster Weise auf den elektrischen Ausstellungen, welche zu London, Paris, München und Wien veranstaltet worden sind.

Eine grosse Anzahl von Maschinen zur Erzeugung des elektrischen Lichtes und zahlreiche elektrische Lampen jeder Art führten die grossartige Anwendung der elektrischen Beleuchtung den staunenden Beschauern vor Augen und lieferten den Beweis, dass das elektrische Licht zur Beleuchtung von öffentlichen Plätzen, von Strassen, von Eisenbahnhallen, von Wohn- und Fabrikgebäuden eine sehr ausgedehnte Anwendung sich bereits gebahnt hat.

Neben der Erzeugung des elektrischen Lichtes fesselte nicht minder die elektrische Kraftübertragung die Aufmerksamkeit der Besucher. Während die Motoren, welche die

Digitized by Google

erforderliche Betriebskraft liefern, die Gas- oder Dampfmaschinen, bisher in der Nähe der Arbeits- resp. Beleuchtungsstellen aufgestellt waren, wurde zu München die Wasserkraft der Isar durch mächtige Turbinen, welche zu ganz andern Zwecken erbaut und bisher benutzt waren, weit von der Verwendungsstelle aufgefangen, in Elektricität umgewandelt und sodann mittelst langer Drahtleitungen fern vom Erzeugungsorte zu den mannigfachsten Beleuchtungs- und Arbeitszwecken dienst- und nutzbar gemacht.

Bei so bedeutenden Fortschritten der elektro-technischen Wissenschaft auf den vorerwähnten Gebieten ist es nicht nur für Fachleute, sondern für die gebildeten Stände überhaupt ein dringendes Bedürfniss, sich mit der Anwendung der Elektricität auf die verschiedenen Zweige der Technik vertraut zu machen und sich mit den fortschreitenden Neuerungen eingehend zu beschäftigen.

Es muss daher der Forderung nach Belehrung seitens der Fachkreise und des gebildeten Publicums durch Werke Genüge geleistet werden, welche in leicht verständlicher Darstellung von den Grundlehren der Elektricität ausgehen und das Verständniss dieser Dinge für weite Kreise vermitteln. Dass diese Aufgabe von unserm Werke in einem sehr befriedigenden Grade gelöst wird, das beweist das schnelle Aufeinanderfolgen der zwei ersten Auflagen.

Bei der Neubearbeitung zeigte es sich gleich im Beginn, dass die zu bearbeitenden Materialien nach allen Beziehungen hin zu umfangreich waren, um in der Zeit zwischen der Münchener und der gegenwärtigen Wiener Ausstellung sich bewältigen zu lassen, und dies um so mehr, als der Wunsch

Digitized by Google

der Techniker mit der Absicht des Verfassers sich deckte, den ganz populären Charakter der früheren Auflagen des Buches zu verlassen und unter Beibehaltung der Leichtverständlichkeit in der Darstellung eine mehr wissenschaftlich-technische Behandlung des Stoffes eintreten zu lassen. Diese Absicht wurde in der neuen Auflage dadurch wesentlich gefördert, dass der Verfasser in der Person des Herrn *Dr. Victor Wietlisbach*, des Docenten der Elektrotechnik an dem eidgenössischen Polytechnicum zu Zürich, einen Mitarbeiter gewann, welcher durch seine bisherigen Arbeiten für verschiedene elektrische Zeitschriften und als Director der Züricher Telephon-Gesellschaft auf dem Gesammtgebiete der Elektrotechnik erfahren und ganz dazu geeignet erschien, das vorliegende Werk zu fördern und weiter auszubilden.

Wir können hiernach als wesentlichste Veränderungen und Bereicherungen, welche diese neue Auflage vor der vorhergehenden auszeichnen, hervorheben, dass die auf dem Pariser Congresse festgesetzten, jetzt allgemein eingeführten elektrischen Maasseinheiten und die zum Messen der elektrischen Grössen jeder Art dienenden Mess-Instrumente (*Volt*-Meter, *Ampère*-Meter, Elektrodynamometer, Elektricitäts-Verbrauchsmesser u. s. w.) aufgenommen, so wie dass deren Gebrauch bei praktischen Messungen eingehend erörtert wurde.

Dass nun auch alle auf die Constructionsdetails bezüglichen Angaben über Maschinen, Lampen und deren Leistungen in den genannten neuen elektrischen Maassen ausgedrückt sind, versteht sich von selbst.

Digitized by Google

Es konnte nicht ausbleiben, dass in den ersten Auflagen des Werkes die Neuheit des Gegenstandes und oft auch das Geheimhalten der Erfinder und Constructeure zu Ungenauigkeiten der Angaben und Unvollständigkeiten der Abbildungen Veranlassung gaben. Der Verfasser war daher aufs eifrigste bemüht, in Verbindung mit seinem Mitarbeiter alle Ungenauigkeiten und Zweifel dieser Art zu beseitigen und von den Constructeuren selbst und, wo es möglich war, durch eigene Besichtigung und Ausmessungen ausgeführter Maschinen genaue Details zu erhalten; die so gewonnenen Zahlen und Maasse finden sich in einer Reihe der wichtigsten Tabellen theils im Texte, theils am Schlusse des Werkes in einem besondern Anhange zusammengestellt.

Das Verständniss der verschiedenen dynamo-elektrischen Maschinen wird durch die Aufnahme einer Classificirung derselben und durch die Zurückführung auf wenige Grundtypen, unter denen auch die neuerdings vielfach verbreitete, und auch auf der Wiener Ausstellung allgemeines Aufsehen erregende Compound-Maschine Berücksichtigung fand, wesentlich gefördert.

Bei der grossen Bedeutung der sog. elektrischen Grossmaschinen ist der Construction und Leistungsfähigkeit derselben in der neuen Auflage eine besondere Beachtung gewidmet worden; wir erwähnen in dieser Beziehung nur die grossen Maschinen von *Edison*, *Ferranti-Thomson*, *Gordon*, *Brush*, *Weston* u. A.

Wie die Bogenlicht-, so hat insbesondere die Glühlichtbeleuchtung eine umfangreiche Neubearbeitung erfahren; namentlich hat die *Edison*-Beleuchtung durch Mittheilung

Digitized by Google

aller dahin gehörigen Einzelheiten in theoretischer wie praktischer Beziehung eine sehr eingehende, den neuesten Installationen entsprechende Ausführung erhalten.

Eine nicht minder eingehende Darstellung und Berücksichtigung fanden schliesslich die neuesten Erfahrungen auf dem Gebiete der so wichtigen Canalisation der Elektricität und der elektrischen Kraftübertragung durch Entwickelung der Theorie von *Dr. Frölich* und *Marcel Deprez*.

Es leuchtet ein, dass es nur dadurch gelingen konnte, der neuen Auflage dieses Buches den Reichthum des Inhaltes und die Fülle der Abbildungen (die Anzahl derselben ist fast auf die doppelte gekommen) zu geben, dass der Verfasser bei einem grossen Kreise von Gelehrten und Technikern darauf rechnen durfte, dieselben würden gern bereit sein, seinen Wünschen im weitesten Umfange entgegen zu kommen.

Wir sind in dieser unserer Erwartung nicht getäuscht worden und erfüllen daher gern die angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle unsern wärmsten Dank allen denen abzustatten, welche durch ihre thatkräftige Unterstützung den Erfolg der Arbeit fördern halfen. Derselbe gebührt an erster Stelle meinem Mitarbeiter, Herrn *Dr. V. Wietlisbach*, der mit unermüdlichem Eifer sich der ihm anvertrauten Aufgabe der Mitarbeiterschaft unterzog und dieselbe mit rastloser Thätigkeit zu Ende führte.

Wir sprechen ferner unsern Dank aus denjenigen Gelehrten und technischen Gesellschaften, welche durch Mittheilung ihrer Arbeiten uns so wesentlich unterstützt haben, in erster Linie dem Geh. Regierungs-Rath Herrn

Digitized by Google

Dr. W. Siemens, dem Professor Herrn *Silvanus P. Thompson*, der Deutschen *Edison*-Gesellschaft, den Gesellschaften *The U. S. El. Lighting Co.*, *The Fuller El. Company*, *The Brush El. Co.*, *The Levett-Müller El. Light Co.* etc. Nicht minder gebührt dieser Dank dem Herrn Verleger, welcher die höchst sorgfältige typographische Ausstattung dieses Werkes mit unausgesetzter Sorgfalt überwacht hat. Möge auch diese dritte Auflage denselben Beifall finden, der den vorigen Auflagen in so reichem Maasse zu Theil geworden ist.

Köln, im November 1883.

Der Verfasser.

Digitized by Google

Inhalts-Verzeichniss.

Seite

Vorwort III

I. Abtheilung.

Physikalische Vorbegriffe.

1. Der Elektromagnet 1
2. Einwirkung eines Magnets auf weiches Eisen (magnetische Vertheilung oder magnetische Influenz) 3
3. Das magnetische Feld; die magnetischen Kraftlinien 6
4. *Ampère's* Solenoid. Der Stahlmagnet als ein System galvanischer Ströme 11
5. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme aufeinander; Anziehung eines Eisenstabes durch ein Solenoid 14
6. Die galvanische Induction 19
7. Die dynamische Induction. Das Inductionsgesetz von *Lenz* . 23
8. Die Magnet-Induction 27
9. Bewegung eines Magnets gegen einen geschlossenen Drahtring 30
10. Rotation eines mit einer continuirlichen Drahtspule umwundenen (des *Gramme'*schen) Ringes zwischen den Polen eines Magnets 32
11. Rotation eines Inductors über den Polen eines Magnets . . . 50
12. Das magnetische Kraftfeld 53

II. Abtheilung.

Die elektrischen Messmethoden und Messinstrumente.

13. Die elektrische Energie 58
14. Das Dynamometer von *Ayrton & Perry* 60
15. Das Dynamometer von *v. Hefner-Alteneck* 62
16. Das Brems-Dynamometer 65
17. Der Tourenzähler 66
18. Das *Ohm'*sche Gesetz und die elektrischen Maass-Einheiten . 67

Digitized by Google

Seite
19. Elektrodynamometer von *Siemens-Halske* 70
20. Die Galvanometer (*Ampère*-Meter, *Volt*-Meter) von *Deprez* und *Ayrton & Perry* 72
21. Das Torsions-Galvanometer *Siemens-Halske* 76
22. Der Registrir-Apparat von *Edison* 77
23. Das elektrische Dynamometer 78
24. Die Lichtmessungen 81
25. Stromverzweigung 88

III. Abtheilung.

Die magnet-elektrischen Maschinen.

26. Die magnet-elektrischen Maschinen von *Pixii*, *Saxton* und *Clarke* 92
27. Die magnet-elektrische Maschine von *Stöhrer* 96
28. Die grossen magnet-elektrischen Rotationsmaschinen. Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* und *van Holmes* . . . 99
29. Der *Siemens*'sche Inductor 105
30. Der *Siemens*'sche magnet-elektrische Läute-Inductor 108
31. Die magnet-elektrische Maschine von *Wilde* 110
32. Magnet-elektrische Maschine von *Deprez* 116
33. Die magnet-elektrische Maschine von *de Méritens* 118

IV. Abtheilung.

Die dynamo-elektrischen Maschinen.

34. Das *Siemens*'sche Princip der dynamo-elektrischen Maschinen . 128
35. Die *Siemens*'sche dynamo-elektrische Maschine 137
36. *Siemens-Halske's* dynamo-elektrischer Läute-Inductor 140
37. *Ladd's* zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine 145
38. *Siemens-Halske's* zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine 151
39. Die *Weston*'sche dynamo-elektrische Maschine 153
40. Die dynamo-elektrische Maschine von *H. G. Möhring* . . . 156
41. Die Lichtmaschine von *Brush* 158

V. Abtheilung.

Die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen zur Erzeugung continuirlicher Ströme, welche in zwei Hälften in parallel geschalteten Zweigen entstehen.

42. *Pacinotti's* Ringmaschine 170
43. Construction des *Gramme*'schen Ringes 179
44. Die *Gramme*'sche Maschine 183

Digitized by Google

Seite

45. Die *Gramme'*schen Maschinen mit Hand- oder Fussbetrieb, die Cabinets-Maschinen 186
46. Die *Gramme'*schen dynamo-elektrischen Grossmaschinen für galvanoplastische Arbeiten 189
47. Die *Gramme'*schen dynamo-elektrischen Grossmaschinen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes; die Lichtmaschinen 194
48. Die Maschinen für elektrische Kraftübertragung 204
49. Die Mängel der *Gramme'*schen Maschine 205
50. Dynamo-elektrische Maschine von *Fein* 212
51. *Schuckert's* dynamo-elektrische Flachring-Maschine 215
52. Der canalisirte Ringanker von *Heinrichs* 223
53. *Desmond G. Fitzgerald's* Maschine 225
54. Die *Gülcher*-Maschine 226
55. *Siemens-Halske's* magnet- und dynamo-elektrische Trommelmaschine 228
56. Die *Siemens-Halske'*sche magnet-elektrische Trommelmaschine für den Kleinbetrieb 236
57. Die *Siemens-Halske'*sche dynamo-elektrische Trommelmaschine für den Grossbetrieb 240
58. Dynamo-elektrische Maschine für Rein-Metallgewinnung von *Siemens-Halske* 248
59. Lichtmaschine von *Weston* (*H. G. Möhring*, Frankfurt) . . . 251
60. Die *Maxim'*sche Maschine 263
61. Die *Edison*-Maschine 266
62. Die Maschine von *Jürgensen* 275
63. Magnet-elektrische Maschine von *Niaudet* 277
64. Die Lichtmaschine von *Wallace-Farmer* 280
65. Dynamo-elektrische Maschine von *Lontin* 283
66. Dynamo-elektrische Maschine von *Bürgin* 286
67. Die neueste dynamo-elektrische Maschine *v. Hefner-Alteneck's* für continuirliche Ströme 291

VI. Abtheilung.

Die neueren Wechselstrom-Maschinen.

(Maschinen zur Erzeugung mehrerer Partialströme.)

68. *Lontin's* Wechselstrom-Maschine 301
69. Die *Gramme'*schen Maschinen für Wechselströme 306
70. Die Wechselstrom-Maschinen von *Jablochkoff* 314
71. Die Wechselstrom-Maschine von *Siemens-Halske* 317
72. Die Maschine von *Müller & Levett* 324
73. Die Maschine von *Lachaussée* 325
74. Wechselstrom-Maschine von *J. E. H. Gordon* 327

Digitized by Google

Seite
75. Die Wechselstrom-Maschine von *Ferranti-Thomson* 335
76. Die Maschine von *Elphinstone-Vincent* 339
77. Die unipolare Maschine 340

VII. Abtheilung.

Theorie der dynamo-elektrischen Maschinen.

78. Gleichung des dynamo-elektrischen Gleichgewichts 345
79. Prüfung der Gleichgewichtsgleichung 347
80. Folgerung aus der Grundgleichung 350
81. Der wirksame Magnetismus 354
82. Vergleichung der dynamo-elektrischen und magnet-elektrischen Maschinen 358
83. Die charakteristische Curve von *Marcel Deprez* 361
84. Die Theorie der Dynamo-Maschine 363
85. Maschinen mit separirter Schaltung 366
86. Dynamo-Maschinen mit constanter Spannung 368
87. Combinirte Maschinen 370
88. Eintheilung der dynamo-elektrischen Maschinen 375
89. Die Collectoren 386

VIII. Abtheilung.

Der Volta'sche Lichtbogen und seine Lichtstärke; Beschaffenheit der Kohlenstäbe.

90. Der *Volta'*sche Lichtbogen 391
91. Das Bild des Lichtbogens 393
92. Die Temperatur des Lichtbogens und der Kohlen 395
93. Die Länge des Lichtbogens 396
94. Widerstand und elektromotorische Kraft des Lichtbogens . 398
95. Spannung des Stromes 405
96. Photometrische Messungen 408
97. Beschaffenheit und Fabrication der Kohlenstäbe 420
98. Die Kohlenfabrication von *Napoli* 429
99. Verhältniss von Lichtstärke und Arbeitsverbrauch 434
100. Vergleichende Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen . 446
101. Versuche auf der elektrischen Ausstellung in Paris 1881 . . 458

IX. Abtheilung.

Die elektrischen Lampen mit Lichtbogen (zur Verwendung bei Einzellichtern).

102. Die elektrische Lampe von *Foucault & Duboscq* 463
103. Die elektrische Lampe von *Serrin* 470

Digitized by Google

Seite
104. *Crompton'*sche Lampe 479
105. Lampe von *E. Bürgin* 483
106. Die *Siemens-Halske'*sche Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*) 486
107. Die Lampe von *J. Jaspar* 492
108. Die Lampe von *C. Dornfeld* in Köln (*Krupp's* Patent) . . . 497
109. Die Nebenlampen von *Siemens-Halske* und *Schuckert* . . . 502
110. Die Locomotiv- und Schiffslampe von *H. Sedlaczek* und *F. Wikulill* 506
111. Die Lampe von *Wallace* 511

X. Abtheilung.

Die Theilung des elektrischen Lichtes. Nebenschluss- und Differential-Lampen. Lampen zur Parallelschaltung.

112. Versuche, das elektrische Licht zu theilen 517
113. Die ersten Anwendungen der Stromverzweigung in der elektrischen Beleuchtung 521
114. Die Nebenschluss-Lampe von *Serrin-Lontin* 530
115. Elektrische Lampe für getheiltes Licht von *Gramme* . . . 531
116. Die Lampe von *Mersanne* 533
117. Die Lampe von *Gérard* 536
118. Die Lampe von *Lever* 539
119. *Siemens-Halske's* Differential-Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*) 543
120. Lampe von *Crompton* 551
121. Die *Bürgin'*sche Lampe 553
122. Die Lampe von *Fontaine* 554
123. Die *Weston*-Lampe 558
124. Doppellampe von *Weston* 562
125. Neue Bogenlampe von *Weston* 565
126. Lampe von *Brush* 568
127. *Tchikoleff'*sche Lampe 579
128. *Schuckert'*sche Differential-Ringlampe 581
129. *Krizik-Piette'*sche Differential-Lampe (Stablampe) 583
130. Die Bogenlampe von *Schmidt* 588
131. Elektrische Lampe von *R. J. Gülcher* 591
132. *Brockie's* elektrische Lampe 599

XI. Abtheilung.

Elektrische Kerzen von Jablochkoff und Jamin u. A. (Diverse Lampen.)

133. *Jablochkoff'*sche Kerze (Bougie électrique) 601
134. Die elektrische Kerze von *Jamin* 618

Digitized by Google

Seite
135. *Andrew's* elektrische Lampe 624
136. Die Lampe von *Rapieff* 626
137. Die Lampe *Soleil* 628

XII. Abtheilung.

Die Incandescenz-Beleuchtung. (Glühlicht-Lampen.)

Versuche mit Inductionsrollen.

138. Die Glühlicht-Lampe von *Reynier* 636
139. Die Glühlicht-Lampe von *Werdermann* 643
140. *Joël*'sche Hängelampe 645
141. Das Glühen der Körper 648
142. Die Glühlicht-Lampen von *Lontin*, *King* und *Lodyguine*, *Konn* und *Bouliguine* 649
143. Die Glühlicht-Lampe von *Edison* 654
144. Die *Swan*'sche Lampe 669
145. *Maxim's* Lampe 675
146. Die Lampen von *Lane Fox* und *Sawyer* 680
147. Die Theorie der Glühlicht-Lampen 681
148. Versuche *Jablochkoff's* und *Varley's* 690

XIII. Abtheilung.

Betriebs- und Regulir-Apparate.

149. Vergleichung der magnet-elektrischen und der dynamo-elektrischen Lichtmaschinen 694
150. Motoren und Bürsten 699
151. Die Regulirung des elektrischen Stromes 703
152. Der Regulator von *Lane Fox* 708
153. Maschinen-Installation und Strom-Regulirung von *Edison* . . 710
154. Die automatische Strom-Regulirung von *Hiram-Maxim* . . 715
155. Die Verbindung der Maschinen 717
156. Die Kuppelung der *Edison*-Maschinen 721
157. Canalisation der Elektricität 724
158. Die Kabel von *Berthoud, Borel & Co.* 728
159. Lichtleitungen und Lichtkabel von *Felten & Guilleaume* . . 732
160. Das Canalisationssystem von *Edison* 735
161. Die Stromunterbrecher 739
162. Die Strommesser von *Edison* 742
163. Die Schutzapparate 746
164. Selbstthätige Umschalter 747

Digitized by Google

Seite
165. Der Sicherheitsschluss 750
166 Die Theorie der Canalisation der Elektricität 755
167. Die Nutzarbeit 759
168. Die Leitung 761

XIV. Abtheilung.

Die elektrische Beleuchtung.

169. Einzellichter oder getheiltes Licht 764
170. Anwendung der elektrischen Beleuchtung 768
171. Die Vorzüge des elektrischen Lichtes 786
172. Kosten des elektrischen Lichtes 794
173. Die Gefährlichkeit des elektrischen Lichtes 813

XV. Abtheilung.

Verschiedene Anwendungen der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen. Anwendung zu galvanoplastischen Zwecken.

174. Anwendung der Handmaschinen 816
175. Anwendung zum Schmelzen von Stahl und Eisen u. s. w. . 818
176. Anwendungen der dynamo-elektrischen Maschinen zu chemischen Zwecken 819
177. Die Entfuselung des Alkohols 827
178. Verwerthung für telegraphische Zwecke 828

XVI. Abtheilung.

Die elektrische Uebertragung der Kraft.

179. Kraftübertragung 832
180. Theorie des elektrischen Triebwerks 835
181. Die Versuche von *Fontaine* über die elektrische Kraftübertragung 844
182. Kraftübertragung von *Marcel Deprez* in München 850
183. Experimente von *Marcel Deprez* im Bahnhofe du Nord in Paris und in Grenoble 850
184. Anwendungen 854
185. Elektrische Eisenbahn 857
186. Elektrische Post 865
187. Elektrischer Aufzug 867
188. Die Klein-Motoren 872
189. Sonstige Anwendungen 876

Digitized by Google

Seite

XVII. Abtheilung.

Die secundären Elemente oder die Accumulatoren.

190. Die Accumulatoren 880
191. *Planté's* Element 881
192. *Faure's* Element 890
193. Die neuen Accumulatoren *Faure-Sellon, Volkmar, Kabath, O. Schulze, Reynier* uud *Dr. Böttcher* 891
194. Anwendung der Accumulatoren 893

Anhang.

Digitized by Google

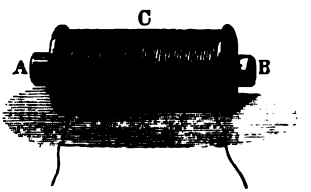
I. Abtheilung.

Physikalische Vorbegriffe.

1. Der Elektromagnet. Ein Stab *A B* (Fig. 1) von weichem Eisen hat die Eigenschaft, dass er ein Magnet wird, wenn ein galvanischer Strom durch einen Draht *C* senkrecht zu seiner Längsrichtung ihn umkreist.

In der Praxis gibt man dem weichen Eisen meist die Form eines Hufeisens *A A* (Fig. 2) mit cylindrisch oder

Fig. 1.



Der Elektromagnet.

Fig. 2.

Elektromagnet mit Anker.

plattenförmig gestalteten Schenkeln, und umwickelt dasselbe in spiralförmigen Windungen möglichst senkrecht zu dem Eisenkerne mit isolirtem, d. h. mit Seide oder Baumwolle umsponnenem Kupferdrahte derart, dass die Windungen eine und dieselbe Richtung auf beiden Schenkeln des Hufeisens haben, wenn man sich dasselbe gerade gestreckt denkt. Verbindet man die Enden des Umwindungsdrahtes mit den Polen einer galvanischen Batterie, so zeigt das Eisen in dem Augenblicke des Schliessens der Batterie und während der

Digitized by Google

Dauer des Stromes einen kräftigen Magnetismus. Das eine Ende des Eisenkerns wird ein magnetischer Nordpol, das andere ein Südpol; die ganze Vorrichtung *A A* wird ein Elektromagnet, und dasjenige Stück Eisen *B*, welches von den Polen angezogen wird, Anker genannt.

Zur Bestimmung der Polarität der beiden Schenkel dient folgende Regel: Man denke sich in dem von dem positiven Strome durchflossenen und senkrecht gegen den Eisenkern gewundenen Drahte schwimmend, so dass der Strom an den Füssen ein- und am Kopfe austritt, und dass das Gesicht dem Eisenkerne zugekehrt ist; es entsteht dann in allen Fällen zur linken Hand ein Nordpol.

Oder auch: Man denke sich dasjenige Ende des Elektromagnets, dessen Polarität man bestimmen will, dem Beschauer zugewandt; wenn dann auf diesem Ende der positive Strom die Richtung der Bewegung eines Uhrzeigers hat, so ist dasselbe ein Südpol, im andern Falle ist es ein Nordpol.

Die Stärke des in dem weichen Eisen entwickelten Magnetismus hängt theils von der Masse des Eisens, theils von der Anzahl der Umwindungen des Drahtes, theils von der Stärke des galvanischen Stromes ab. Der durch den Strom in dem weichen Eisen erregte Magnetismus dauert nur so lange, als der Strom dauert. Wenn dieser durch die Unterbrechung des Schliessungsdrahtes aufhört zu circuliren, verliert auch das Eisen sofort seinen Magnetismus, nimmt jedoch denselben eben so schnell wieder an, wenn der Strom von Neuem beginnt, den Umwindungsdraht zu durchlaufen. Durch eine rasche Folge von Unterbrechungen und Wiederherstellungen des Stromes, also durch rasch hintereinander folgendes öfteres Oeffnen und Schliessen der Batterie, kann man daher dasselbe Stück weichen Eisens in sehr kurzer Zeit mehreremal magnetisch und wieder

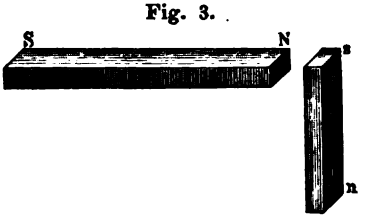
Digitized by Google

unmagnetisch machen. Ausserdem kann man in einem und demselben Schenkel in kurzer Zeit sehr oft die Polarität wechseln, so dass derselbe rasch hintereinander bald ein Nordpol, bald ein Südpol wird; es ist dazu nur erforderlich, den positiven Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch die Drahtwindungen zu leiten.

Je reiner und weicher das Eisen ist, desto vollständiger erhält und verliert der Eisenkern beim Durchleiten und Unterbrechen des Stromes, also beim Schliessen und Oeffnen der Batterie, seinen Magnetismus. Immerhin ist aber eine gewisse, wenn auch sehr kleine Zeit erforderlich, bis der Magnetismus sich in seiner ganzen Stärke entwickelt hat, wie andererseits Zeit dazu erforderlich ist, bis derselbe wieder ganz verschwunden ist. Die Erfahrung lehrt ferner, dass bei der Unterbrechung des Stromes nicht der ganze Magnetismus aus dem Eisenkerne verschwindet, sondern je nach Umständen mehr oder weniger davon in demselben zurückbleibt; man nennt diesen, nach Unterbrechung des Stromes in den Schenkeln des Elektromagnets zurückbleibenden Magnetismus den remanenten Magnetismus.

2. **Einwirkung eines Magnets auf weiches Eisen. (Magnetische Vertheilung oder magnetische Influenz.)** Bringt man, wie in Figur 3, ein Stück weiches Eisen *s n* in die Nähe

Fig. 3.



Magnetische Vertheilung.

eines Magnetpols *N*, so wird ersteres unter dem Einflusse des Magnets *S N* selbst magnetisch, und zwar erhält dasjenige Ende *s* des weichen Eisens, welches dem Magnetpole am nächsten ist, einen entgegengesetzten, das abgekehrte

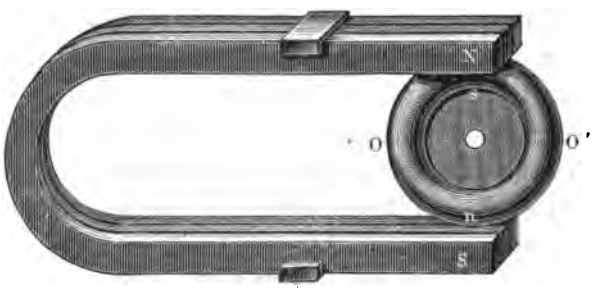
Digitized by Google

Ende einen gleichnamigen Pol. Man nennt diese Erscheinung die magnetische Vertheilung oder Influenz.[1]) Das weiche Eisen behält jedoch seine Polarität nur so lange, als es unter dem Einflusse des inducirenden Magnets bleibt; entfernt man es aus dem Felde der magnetischen Kraft, so verliert es den inducirten Magnetismus wieder um so schneller und vollständiger, je reiner und weicher das Eisen ist.

Führt man den Eisenstab *s n* an dem Nordpole *N* des Magnets vorbei, so verschiebt sich der Südpol *s* des Stabes, in dem Maasse, als dieser höher hinaufrückt und sich *s* von *N* entfernt, rückt auch der Südpol *s* nach unten, und schliesslich wird das untere Ende, das früher ein Nordpol war, ein Südpol, wenn dasselbe dem inducirenden Pole N näher steht als das obere Ende.

Befindet sich, wie in Figur 4, zwischen den Polen *N* und *S* eines Hufeisenmagnets ein Ring von weichem Eisen,

Fig. 4



Verschiebung der Pole in einem rotirenden Ringe.

der sich um seine Achse drehen lässt, so entstehen in der Ruhelage des Ringes unterhalb der Pole *N* und *S* in dem Ringe selbst durch Influenz die neuen Pole *s* und *n*, während in den um 90° davon entfernten Stellen *O* und *O'* sich die Indifferenzpuncte oder die neutralen Puncte be-

1) Den Ausdruck „magnetische Induction" oder „Magnet-Induction" werden wir bloss auf den Fall der durch einen Magnet inducirten galvanischen Ströme anwenden.

Digitized by Google

finden, in denen die magnetische Kraft Null ist. Dreht man nun von links nach rechts den Ring langsam um seine Achse, so rücken in der Richtung der Drehung immer neue Eisentheile des Ringes unter die Pole N und S, welche bei der Annäherung an N und S die magnetische Polarität annehmen und bei der Entfernung von N und S dieselbe wieder verlieren, so dass die inducirten Pole s und n ihre Stelle im Raume unter den inducirenden Polen N und S behalten, wogegen stets neue Theile des Ringes in diese Stelle einrücken. Bei jeder ganzen Umdrehung haben alle Theile des Ringes, von O aus gerechnet, nach der Reihe zuerst den Südmagnetismus angenommen, dann diesen Magnetismus wieder verloren, darauf den Nordmagnetismus angenommen, und endlich auch diesen wieder verloren; in irgend einem bestimmten Augenblicke haben die Endpuncte eines bestimmten Durchmessers des Ringes bestimmte Pole und nach einer weiteren halben Umdrehung des Ringes haben sie die entgegengesetzten Pole. Wie die Pole s und n während der Drehung ihre Stellen im Raume beibehalten, so bleibt auch die neutrale Linie OO' immer an derselben Stelle.

Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn man den Ring in eine schnelle Rotation versetzt. Es verschwindet nämlich der inducirte Magnetismus aus den Ringtheilen nicht sofort, wenn diese sich von den Polen N und S entfernen. Während in einem bestimmten Theile des Ringes von dem Indifferenzpuncte O aus bis zum nächsten Pole N eine sehr schnelle Zunahme der Intensität des inducirten Magnetismus stattfindet und das magnetische Maximum dieses Theiles unter N eintritt, nimmt in Folge der magnetischen Trägheit dieses Maximum von s nach O' hin nicht so schnell ab, vielmehr bleibt die magnetische Intensität von s ab in der Richtung gegen O' hin eine Strecke lang nahezu constant und nimmt dann in einiger Entfernung von s bis zum Indifferenzpuncte O', der ebenfalls in der Richtung der Bewegung

Digitized by Google

nach *n* hin vorrückt, langsam ab. Von diesem Nullpuncte an bis zum nächsten Pole *n* findet dann wieder eine sehr schnelle Zunahme der magnetischen Intensität statt, worauf wieder in *n* ein Maximum folgt, das sich eine Strecke über *n* hinaus nahezu constant erhält, um dann langsam bis auf Null herabzusinken. Man sieht hieraus, dass das Maximum des inducirten Magnetismus nicht in zwei Puncten des Eisenringes liegt, sondern über eine gewisse Strecke ausgebreitet ist, und dass sich von *s* nach *O'* und wieder von *n* nach *O* hin so zu sagen zwei verlängerte Pole bilden. In Folge hiervon liegt denn auch die Indifferenzlinie *O O'* nicht genau um 90° von den Polen *N* und *S*, sondern in der Richtung der Drehung von *N* aus gerechnet in einem etwas grössern Winkel als 90° entfernt.

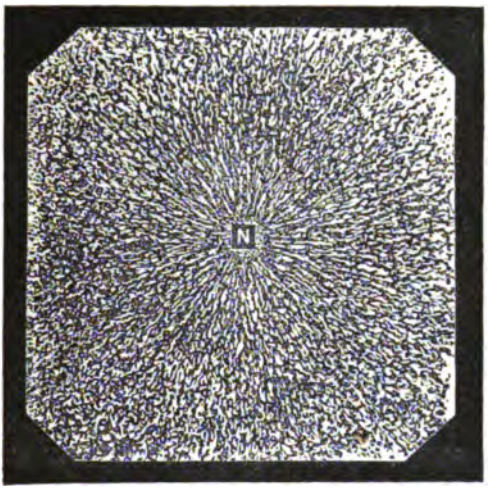
3. Das magnetische Feld; die magnetischen Kraftlinien. Die Wirkung eines Magnets nach aussen hängt von mancherlei Umständen ab, erstreckt sich aber je nach der Stärke der Magnetisirung und der Form des Magnets nach allen Richtungen in verschiedener Intensität auf eine gewisse Entfernung von demselben. Man nennt diesen Raum der magnetischen Wirkungsfähigkeit eines Magnetpols die Wirkungssphäre des Poles, auch wohl einfach das magnetische Feld, obwohl strenge genommen der letztere Ausdruck etwas anderes bezeichnet.

Die in §. 2 erläuterte Influenz erfolgt nur, wenn der Stab *s n* (Fig. 3) sich in dem magnetischen Felde des inducirenden Magnets *S N* befindet. Uebertrifft dabei die magnetische Anziehung das Gewicht des Stabes *s n*, und ist dieser frei beweglich, so wird derselbe von dem Magnet *S N* angezogen. Ein zweites Stäbchen weiches Eisen, welches man nun dem Pole *n* nähert, wird wiederum leicht so kräftig influenzirt, dass die magnetische Anziehung stärker als das Gewicht des Stäbchens wird. Auf diese Weise kann man fortfahren, kleinere Stäbchen anzuhängen.

Digitized by Google

Die magnetische Influenz erfolgt auch durch neutrale Körper hindurch, z. B. durch Glastafeln, Kartenblätter u. dgl. Bestreut man eine solche Tafel gleichmässig mit Eisen-

Fig. 5.

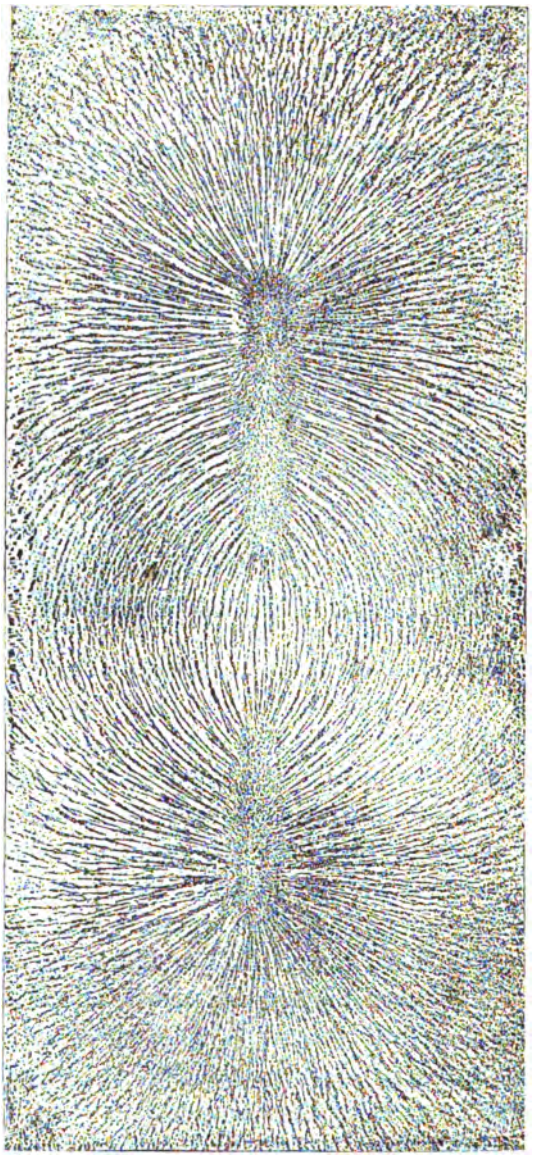


Magnetische Kraftlinien um einen Magnetpol.

feile und nähert etwa von unten den einen Pol, z. B. den Nordpol, eines gewöhnlichen Magnetstabes bis zur Berührung, so ordnet sich die Eisenfeile nach dem Bilde in Fig. 5 an. Die einzelnen Eisentheilchen, die als leicht bewegliche Magnetstäbchen betrachtet werden können, lagern sich demnach zu regelmässigen Linien, welche, da die Richtung der Pollinie eines einzelnen Stäbchens auch diejenige ist, in welcher die magnetische Kraft des Poles *N* an der vom Stäbchen besetzten Stelle des Raumes wirkt, magnetische Kraftlinien genannt werden. Dieselben sind in dem erwähnten Bilde gerade Linien, welche von dem Pole *N* aus nach allen Richtungen hin laufen. Fig. 6 p. 8 zeigt das Bild der Kraftlinien für den Fall, dass die beiden

Digitized by Google

Fig. 6.

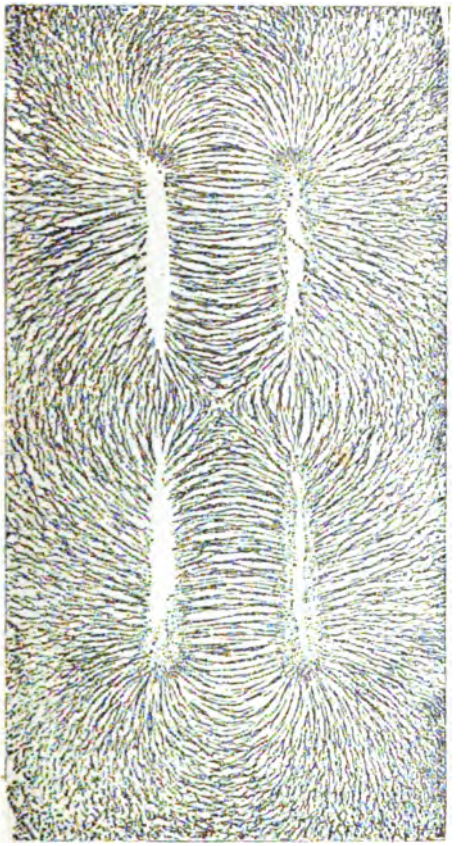


Magnetische Kraftlinien um die Pole eines Hufeisenmagnetes.

Digitized by Google

Pole eines Hufeisenmagnets unmittelbar unter die Glastafel gehalten werden. Zwischen den Polen sind jetzt die Kraftlinien geschlossene Curven, welche sich immer mehr er-

Fig. 7.



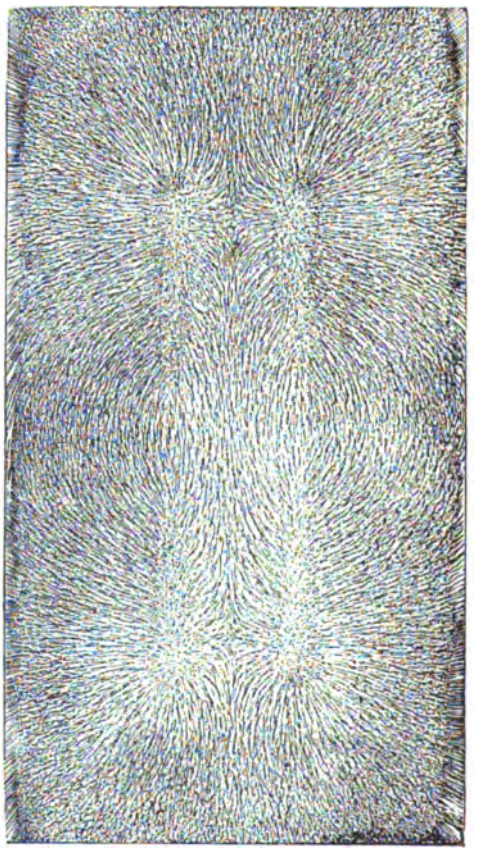
Magnetische Kraftlinien zwischen zwei parallelen Magnetstäben.

weitern und schliesslich nach allen Richtungen des Raumes ausdehnen. In der Mitte des Bildes zwischen den beiden Polen gibt es ein kleines Gebiet, wo die Kraftlinien ungefähr parallel und in gleichen Abständen von dem einen Pole zum andern gehen. Dieses Gebiet wird homogenes

Digitized by Google

magnetisches Kraftfeld genannt. Es hat die Eigenschaft, dass in jedem seiner Puncte die magnetische Kraft die gleiche Richtung hat, nämlich die Richtung der parallelen Kraftlinien, und dass diese Kraft innerhalb derselben überall die gleiche Intensität hat. Liegen etwa zwei Stäbe mit entgegengesetzten Polen einander gegenüber, so gestalten sich die Kraftlinien zum Bilde, welches Figur 7 (s. S. 9)

Fig. 8.



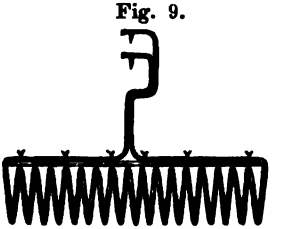
Magnetische Kraftlinien zwischen zwei parallelen Magnetstäben.

Digitized by Google

zeigt; charakteristisch für dieses Bild ist der Umstand, dass die Eisentheilchen den Raum zwischen den gegenüberliegenden Enden der beiden Stäbe gleichsam überbrücken, in der Mitte aber, den Indifferenzpuncten der Stäbe gegenüber, ein Kreuz bilden. Ein wesentlich anderes Bild entsteht, Fig. 8 (s. S. 10), wenn die Stäbe mit den gleichnamigen Polen gegenüber gelegt werden, da nunmehr die Curven zwischen den Stäben von dem Nordpole zu dem Südpole desselben Stabes sich hinziehen. Warum die Curven gerade die in den Figuren gezeichneten und keine anderen sind, ergibt sich unschwer, wenn man nur das Gesetz beachtet, dass gleichnamige Pole sich abstossen, ungleichnamige jedoch sich anziehen.

4. Ampère's Solenoid. Der Stahlmagnet als ein System galvanischer Ströme. Zwei galvanische Ströme wirken wie zwei Magnete je nach ihrer Richtung anziehend oder abstossend aufeinander, und eine blosse Drahtspirale, deren Windungen senkrecht zu ihrer Längsrichtung stehen, verhält sich, wenn sie von einem galvanischen Strome durchflossen wird, wie ein Stahlmagnet. Hängt man eine solche Spirale von Kupferdraht (Fig. 9) mit ihren aufwärts gebogenen Enden in zwei mit Quecksilber gefüllte kleine Näpfchen so auf, dass sie frei schwebt und sich leicht drehen kann, und verbindet man das Quecksilber beider Näpfchen mit den Polen einer galvanischen Batterie, so dass ein Strom durch das Drahtgewinde geht, so zeigt die Spirale alle Eigenschaften eines gewöhnlichen Stahlmagnets; sie hat einen Nordpol und einen Südpol, stellt sich wie eine Magnetnadel in die Ebene des magnetischen Meridians und zeigt nahezu von Süden nach Norden. Nähert man zwei solche Drahtspiralen einander, so stossen sich die gleichnamigen

Fig. 9.



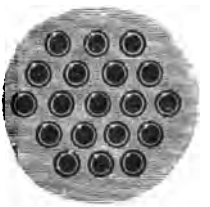
Ampère's Solenoid.

Digitized by Google

Pole ab, während sich die ungleichnamigen Pole anziehen. Die Polarität der Enden gestaltet sich dabei nach der in §. 1 gegebenen Regel. *Ampère*, dem wir die Hauptgesetze der Elektrodynamik verdanken, nannte eine solche von einem galvanischen Strome durchflossene Drahtspirale ein Solenoid.

Die Wirkung eines schraubenförmig um einen Eisenkern gewundenen, von einem Strome durchflossenen Drahtes auf das Eisen, wie sie sich beim Elektromagnet zeigt (§. 1), so wie das Verhalten der Solenoide führte den genannten Physiker zu einer neuen Vorstellung von der Natur eines Stahlmagnets. Nach *Ampère's* Theorie denkt man sich ein jedes Molekül eines Magnets als von einem in sich selbst zurückkehrenden galvanischen Strome umkreist; alle diese Elementarströme sind unendlich klein, einander unendlich nahe, alle von gleicher Richtung und alle senkrecht zu einer und derselben Linie, der Achse des Magnets, wie es durch die Fig. 10 angedeutet wird, welche einen Querschnitt senkrecht zur Achse eines Magnetstabes darstellt.

Fig. 10.



Die Molekularströme.

Die Richtung dieser Molekularströme ist bei je zwei unendlich nahe liegenden Molekülen in den sich berührenden Theilen entgegengesetzt und daher die Wirkung derselben nach aussen gleich Null. Es bleiben mithin nur die äusseren Randströme als wirksame Theile übrig, und statt der einzelnen, in jedem Querschnitte eines Stahlstabes circulirenden Molekularströme hat man gleichsam als die Resultirende derselben nur einen einzigen Strom, welcher senkrecht zu der Längsachse des Magnetstabes um denselben kreist. Man gelangt so zu der für die Anwendung etwas bequemeren Vorstellung *Ampère's* von der Natur eines Stahlmagnets, dass er ein in sich geschlossenes System von einzelnen unter sich

Digitized by Google

parallelen und gleich gerichteten galvanischen Stromkreisen ist. Diese Stromkreise haben eine solche Richtung, dass sie auf dem dem Beschauer zugekehrten Südpole mit der Bewegungs-Richtung eines Uhrzeigers übereinstimmen, wie es durch die Figur 11 veranschaulicht wird. Richtet man den Nordpol gegen den Beschauer, so circuliren auf demselben selbstverständlich die Ströme entgegengesetzt der Bewegung eines Uhrzeigers.

Fig. 11.

Der Stahlmagnet als System galvanischer Ströme.

Bei aller Aehnlichkeit der Solenoide und der Magnete unterscheiden sich doch beide in ihrer Wirkung dadurch, dass der Pol eines Solenoids am äussersten Ende desselben, bei einem Magnet dagegen stets etwas von diesem Ende entfernt in seinem Innern liegt, was von der gegenseitigen Einwirkung der einzelnen, im Magnet circulirenden kleinen geschlossenen Ströme herrührt. In dem Maasse, als man einem Magnet mehr und mehr die Form eines Fadens gibt und damit den kleinen elementaren Molekularströmen näher kommt, nähern sich auch die Pole des fadenförmigen Magnets mehr und mehr seinen äussersten Enden. Spätere Untersuchungen von *Gaugain* haben ausserdem noch gezeigt, dass auch noch in anderer Beziehung in der Analogie zwischen den Solenoiden und den Magneten Abweichungen stattfinden, und dass man, um die Theorie der Stromwirkungen auf die der Solenoide anwenden zu können, sich die Magnete als Solenoide oder Systeme von Strömen zu denken hat, die zwar alle gleich weit von einander entfernt sind, deren Intensitäten aber von einem Strome zum andern nach einem

Digitized by Google

bestimmten Gesetze variiren, oder auch als Stromsysteme, deren Einzelströme alle dieselbe Intensität haben und in ihrer Gesammtheit als einen einzigen Strom sich darstellen, dessen einzelne Windungen jedoch ungleiche, nach einem bestimmten Gesetze variirende Entfernungen von einander haben.

5. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme aufeinander; Anziehung eines Eisenstabes durch ein Solenoid. Nachdem einmal festgestellt worden war, dass sich ein Magnet wie ein Solenoid verhält und da zwei Magnete bezw. zwei Solenoide anziehend oder abstossend aufeinander wirken, so liess sich erwarten, dass auch zwei galvanische Ströme je nach ihrer Richtung anziehend oder abstossend aufeinander wirken würden. In der That fand auch *Ampère* schon in dieser Beziehung folgende drei elektrodynamische Gesetze:

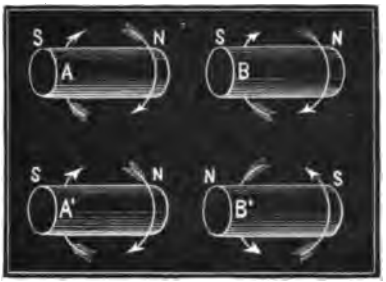
1) parallele Ströme von gleicher Richtung ziehen sich an;
2) parallele Ströme von entgegengesetzter Richtung stossen sich ab;
3) nicht parallele (sich kreuzende) Ströme haben das Bestreben, sich parallel und gleichgerichtet zu stellen.

Dass die beiden ersten Gesetze dem Grundgesetze des Magnetismus: „Ungleichnamige Pole ziehen sich an, gleichnamige Pole stossen sich ab" entsprechen, ist aus dem vorhergehenden Paragraphen sowie aus der Fig. 12 (s. f. S.) zu ersehen. Dieselben Gesetze bedingen ferner, dass ein vom Strom durchflossenes Solenoid einen Eisenstab anziehen und in sich hineinziehen muss, wenn der Stab in der Achse des Solenoids frei beweglich und die anziehende Kraft grösser als das Gewicht des Stabes ist. Dieser wird nämlich, dem vom Strom durchflossenen Solenoid hinreichend genähert, durch letzteres in einen Magnet verwandelt (§. 1) und dadurch von solchen unter sich parallelen Strömen durchflossen, welche dem das

Digitized by Google

Solenoid durchfliessenden Strome gleichgerichtet sind. Wir haben sonach ein System von einzelnen unter sich parallelen und gleichgerichteten Strömen und daher zwei benachbarte Systeme von Strömen, Solenoidströme in der Drahtspirale und Stabströme in dem zum Magnet gewordenen Eisenstabe.

Fig. 12.



Stahlmagnete als Systeme galvanischer Ströme.

Je nach der gegenseitigen Lage der beiden Ströme zu einander wird die anziehende Wirkung derselben den Stab in die Höhe oder in die Tiefe zu ziehen trachten; ersteres geschieht, wenn der Solenoidstrom über dem Stabstrome liegt, letzteres, wenn das Gegentheil der Fall ist. Fliessen die beiden Ströme in gleicher Ebene, so übt ihre Anziehung auf die Bewegung des Stabes keinen Einfluss aus, trägt vielmehr nur dazu bei, dass der Stab stets die Achse des Solenoids einnimmt. Denken wir uns nun das Solenoid und den Stab von gleicher Grösse und beide etwa in zehn gleiche Theile zerlegt, nehmen wir an, dass auf die Ströme eines Stabtheiles von einer Seite her höchstens die Ströme in fünf Solenoidtheilen einwirken, und bezeichnen wir die Kraft, mit welcher ein Solenoidtheil einen Stabtheil nach $\frac{\text{oben}}{\text{unten}}$ zieht, mit $\pm k$, so lässt sich die vom Solenoid auf den Stab in den verschiedenen Stellungen ausgeübte Kraft annähernd dadurch bestimmen, dass man die von den bezüglichen Solenoidtheilen auf jeden Stabtheil ausgeübten

Digitized by Google

Kräfte addirt. Für die verschiedenen Höhen O, I, ... (siehe Figur 13, S. 17) ergibt sich aber:[1])

0. $5k + 4k + 3k + 2k + k = 15k.$

I. $5k + 5k + 4k + 3k + 2k = 19k.$

II. $(5k - k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 24k.$

III. $(5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 27k.$

IV. $(5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 29k.$

V. $(5k - 4k) + (5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k + k = 30k.$

VI. $(4k - 5k) + (5k - 4k) + (5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k + 4k + 3k + 2k = 28k.$

VII. $(3k - 5k) + (4k - 5k) + (5k - 4k) + (5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k + 4k + 3k = 24k.$

VIII. $(2k - 5k) + (3k - 5k) + (4k - 5k) + (5k - 4k) + (5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k + 4k = 18k.$

IX. $(k - 5k) + (2k - 5k) + (3k - 5k) + (4k - 5k) + (5k - 4k) + (5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k + 5k = 10k.$

X. $-5k + (k - 5k) + (2k - 5k) + (3k - 5k) + (4k - 5k) + (5k - 4k) + (5k - 3k) + (5k - 2k) + (5k - k) + 5k = 0.$

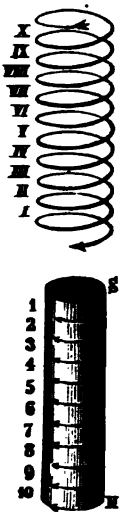
Obschon die Berechnung nur für einen speciellen Fall, mit Vernachlässigung der Entfernung eines Solenoidtheiles von dem Stabtheile, durchgeführt wurde, so zeigt sie doch schon, in welcher Weise die Grösse der Kraft sich ändert, mit der ein Eisenkern von einem Solenoid angezogen wird. Nähert man darnach einer vom Strome durchflossenen Drahtspirale in ihrer axialen Richtung einen cylindrischen Eisenstab, so wird derselbe soweit in die Spirale hineingezogen, bis die Mitte der Spirale mit der Mitte des Stabes in eine Ebene fällt; die Kraft, mit welcher der Stab in die Spirale hineingezogen wird, erreicht ihr Maximum, wenn das eine Ende des Stabes mit der Mitte der Spirale eine Ebene bildet, nimmt alsdann, je mehr die beiden Mitten sich einander

1) Vergl. §. 10 die ausführliche analoge Betrachtung der Wirkungsweise des Gramme'schen Ringes.

Digitized by Google

nähern, stetig ab, bis dieselbe, wenn die beiden Mitten in eine Ebene fallen, gleich Null wird.

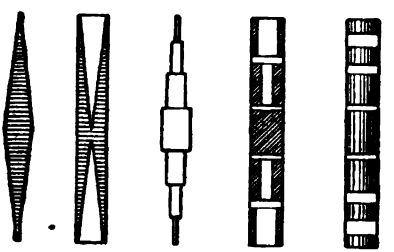
Fig. 13.



Anziehung des Eisenstabes durch ein Solenoid.

Das ausgesprochene Gesetz gilt nur dann, wenn der Stab die Gestalt eines geraden Cylinders hat. Denken wir uns aber den Stab aus einzelnen Schichten zusammengesetzt, welche ungleiche Durchmesser haben, so ist die Wirkung der vom Solenoid auf eine Schicht ausgeübten Kraft um so grösser, je geringer ihr Durchmesser ist und umgekehrt. Durch geeignete Gestaltung des Stabes lässt sich daher erzielen, dass die Kraftäusserung eines Solenoids auf den Stab auf eine beträchtliche Strecke des Stabes gleich bleibt. So zeigt Fig. 14 mehrere derartige Stäbe, deren Anordnung wir *Krizik* verdanken.

Fig. 14.



Krizik'sche Stäbe.

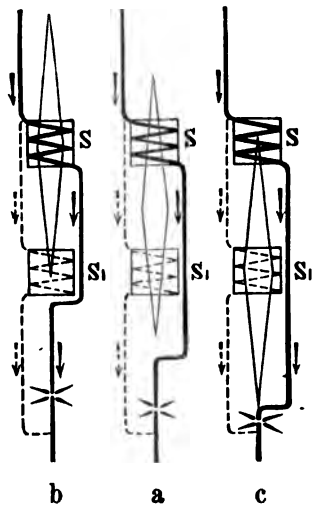
Die Anwendung derselben kann eine vielseitige sein und zwar in Verbindung mit einem Solenoid überall dort, wo eine gleichmässige Bewegung oder Anziehung auf eine grössere Länge erzielt werden soll, oder in Verbindung mit einem Solenoid und einer anderen, demselben entgegen wirkenden Feder- oder Gewichtskraft, oder in Verbindung mit

Digitized by Google

zwei Solenoiden, deren Kraftäusserungen ebenfalls entgegengesetzt sind, wo es sich um die Haltung des Stabes in einer bestimmten Lage oder um eine der Aenderung der Kraftäusserung entsprechende Verschiebung dieses Stabes handelt.

Befindet sich etwa ein doppelkonischer Eisenkern in zwei Solenoiden von gleicher Länge, wie Fig. 15a zeigt, so ist die Wirkung der beiden Spulen bei gleich grossem magnetischem Moment auf den Eisenkern gleich. Dasselbe ist der Fall, wenn die Spule S_1 an dem einen Ende des Kerns und S nach seiner Mitte ist (Fig. 15b) und ebenso, wenn die Spule S am anderen Ende und Spule S_1 nahe der Mitte ist (Fig. 15c). Dasselbe gilt für jeden Punct zwischen diesen

Fig. 15.



Gleichgewichtslage eines Krizik'schen Kernes bei zwei Solenoiden.

beiden extremen Stellungen. Ist nun das Gewicht des Eisenkerns äquilibrirt, so bringt jede kleine Veränderung des magnetischen Moments der einen Spule eine Bewegung des Kerns in der einen oder anderen Richtung hervor, bis die Mitte

Digitized by Google

des Kerns in der Mitte der kräftiger wirkenden Spule angelangt ist.

6. Die galvanische Induction. Ein galvanischer Strom kann in einem Drahte, der ihm benachbart ist, ohne dass er mit diesem Drahte selbst in Berührung kommt, einen neuen galvanischen Strom hervorrufen. Man bezeichnet im Allgemeinen die Erscheinung, dass galvanische Ströme ohne eine Batterie durch einen bereits vorhandenen Strom erzeugt werden, mit dem Namen Induction. *Faraday*, der im Jahre 1830 u. ff. diese neue Art der Stromerzeugung entdeckte, unterschied die galvanische Induction von der dynamischen, je nachdem der vom Batteriestrome durchflossene Leiter in Ruhe bleibt oder in Bewegung versetzt wird.

Die galvanische Induction besteht in Folgendem:

Befindet sich in der Nähe eines mit den Polen einer Batterie in Verbindung stehenden, also von einem Strome durchflossenen Leiters ein in sich geschlossener Draht, so entsteht in dem Augenblicke, wo die Batterie geschlossen oder geöffnet wird, auch in dem Nebendrahte ein Strom, welcher immer nur einen Augenblick dauert. Dieser durch den Batterie- oder den primären Strom in dem benachbarten Drahte erzeugte secundäre Strom wird Inductionsstrom genannt.

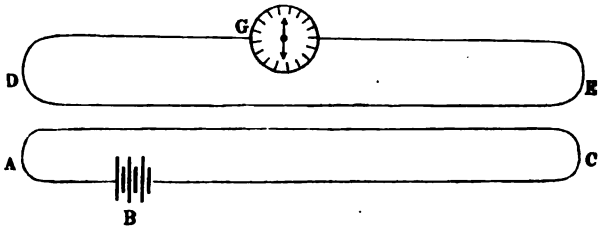
Zur Erläuterung dieser Erscheinung stelle in Fig. 16 B eine galvanische Batterie und $A\,C$ den dieselbe schliessenden Leitungsdraht vor; in der Nähe dieses letztern befindet sich der Draht $D\,E$, in welchem ein Galvanometer G eingeschaltet ist. Da der Draht $D\,E$ weder mit der Batterie noch mit dem vom Strome durchflossenen Schliessungsdrahte in Verbindung steht, so fliesst für gewöhnlich kein Strom durch denselben und die Nadel der Boussole steht auf Null.

Wenn jedoch die Batterie B geschlossen wird, so entsteht in dem Momente des Schliessens, wo der Strom durch

Digitized by Google

die Leitung $A\,C$ hindurchfliesst, auch in dem Nebendrahte ein Inductionsstrom, dessen Auftreten das Galvanometer G anzeigt und dessen Richtung dem Hauptstrome in $A\,C$ entgegengesetzt ist.

Fig. 16.



Die galvanische Induction.

Der Inductionsstrom in $D\,E$ hat nur eine überaus kurze Dauer; er erscheint nur für einen Augenblick und verschwindet dann wieder, obgleich der Hauptstrom der Batterie B fortfährt, in dem Drahte C zu circuliren. Die Nadel des Galvanometers G zuckt daher auch nur für einen Augenblick aus ihrer Ruhelage und kehrt dann sofort wieder auf Null zurück, ungeachtet der Strom in $A\,C$ fortdauert.

Wenn man aber die Batterie B öffnet und die Leitung $A\,C$ unterbricht, so entsteht mit dem Verschwinden des Hauptstromes sofort wieder ein Inductionsstrom im Nebendrahte $D\,E$, ebenfalls von äusserst kurzer Dauer, aber dem verschwindenden Hauptstrome gleichgerichtet.

Es ergibt sich also:

1) dass die galvanischen Inductionsströme von ausserordentlich kurzer Dauer sind;
2) dass bei jedesmaligem Schliessen der Batterie der Inductionsstrom dem Batteriestrome entgegengesetzt, bei jedesmaligem Oeffnen der Batterie der Inductionsstrom dem Batteriestrome gleichgerichtet ist.

Würde man in der Minute die Batterie 500 Mal schliessen und öffnen, so erhielte man hierdurch in einem benach-

Digitized by Google

barten Leiter 1000 Inductionsströme, welche abwechselnd entgegengesetzte Richtungen haben. Die sämmtlichen Schliessungsströme haben unter sich gleiche Richtung, eben so alle Oeffnungsströme, dagegen die ersteren die entgegengesetzte Richtung der letzteren.

Die Stärke des Inductionsstromes ist proportional der Stärke des Batteriestromes; sie ist ausserdem noch abhängig von der Entfernung des inducirten und des inducirenden (primären) Drahtes, so wie von der Länge derjenigen Drahttheile, welche auf die Inductionswirkung Einfluss haben.

Die inducirende Gesammtwirkung von AC auf DE setzt sich nämlich aus der Summe derjenigen kleinen Wirkungen zusammen, welche die einzelnen Stromelemente von AC auf die benachbarten Elemente des Nebendrahtes DE ausüben; es wächst daher der Inductionsstrom in DE mit der Anzahl derjenigen Drahttheile, welche auf den secundären Draht inducirend einwirken, im Allgemeinen also mit der Länge der beiden Drähte.

Diese letzte Rücksicht dient als Richtschnur bei der Anfertigung von Vorrichtungen, durch welche kräftige Inductionsströme erzeugt werden sollen. Dieselben bestehen, wie Fig. 17 zeigt, aus zwei einander möglichst nahe gebrachten

Fig. 17.

Inductionsrolle.

Drähten, die sich gleichwohl in keinem Puncte leitend berühren dürfen. Zu diesem Zwecke werden die Drähte

Digitized by Google

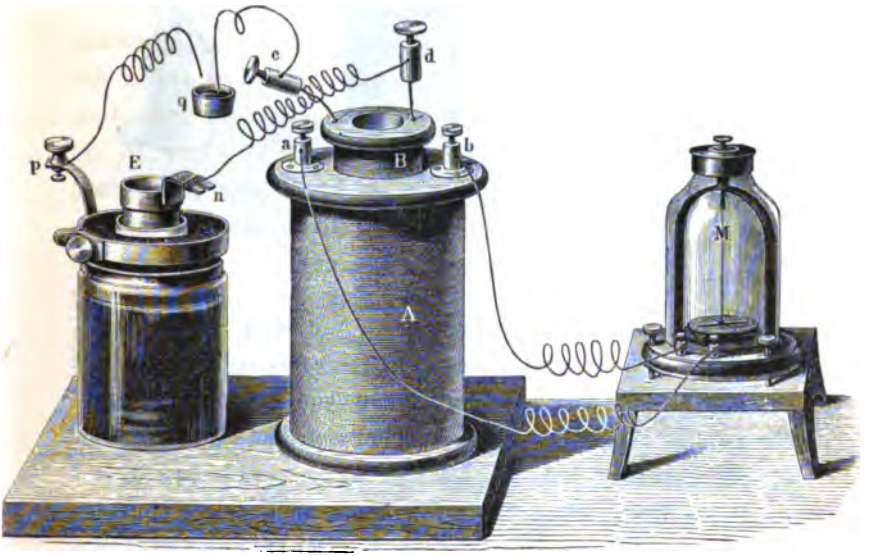
sorgfältig mit Seide umsponnen und so von einander isolirt in grosser Länge nach derselben Richtung dicht übereinander auf eine Rolle von Holz oder Pappe aufgewickelt. Das System dieser beiden Drähte, von denen aus besonderen Gründen der eine Draht, z. B. *R r*, weit dicker genommen wird als der Nebendraht *G g*, bildet eine Inductionsrolle; der dicke Draht wird der primäre oder Hauptdraht, der dünnere Inductionsdraht genannt.

Man kann auch jeden der genannten Drähte getrennt für sich auf eine besondere Holz- oder Pappspule aufwinden und dann die Spule des dicken inducirenden Drahtes in die Höhlung der Inductionsspule des dünnen Drahtes hineinstecken. Der Versuch, wie er durch die schematische Figur 16 erläutert worden ist, gestaltet sich dann in der Weise, wie es durch Fig. 18 dargestellt ist. *A* ist die aus feinem, langem Drahte bestehende Inductionsrolle, *B* die inducirende Spirale aus dickem Drahte, *E* das galvanische Element, *M* das Galvanometer. Die Enden *a b* der Rolle *A* sind mit dem Galvanometer, die Enden *c d* des dicken Drahtes vermittelst eines Quecksilbernäpfchens *q* mit den Polen *p n* des Elements verbunden. Im Ruhezustande zeigt die Nadel des Galvanometers, dass in der Rolle *A* kein Strom vorhanden ist. Wird aber die Batterie durch Eintauchen des von *p* kommenden Drahtes in das Quecksilber bei *q* geschlossen, so schlägt die Nadel in *M* für einen Augenblick aus und zeigt an, dass die Rolle *A* von einem Strome durchflossen wird, der dem in der Rolle *B* circulirenden Strome entgegengesetzt ist; dann kehrt die Nadel sofort wieder auf den Nullpunct zurück und verharrt in Ruhe, bis man durch Entfernen des Drahtes *q* aus dem Quecksilber die Batterie wieder öffnet, wobei dann der zweite Ausschlag der Nadel in *M* den Oeffnungs-Inductionsstrom anzeigt, der mit dem Batteriestrome in *B* gleichgerichtet ist.

Digitized by Google

Besonders beachtenswerth ist die Erscheinung, dass, wenn der Batteriestrom im dicken Drahte *B* circulirt, die Nadel also in Ruhe ist, jede plötzliche Verstärkung dieses Stromes einen ihm entgegengesetzten Strom in dem dünnen Drahte inducirt; umgekehrt erzeugt jede plötzliche Abnahme in der Stärke des Batteriestromes in dem Nebendrahte einen Strom von gleicher Richtung.

Fig. 18.



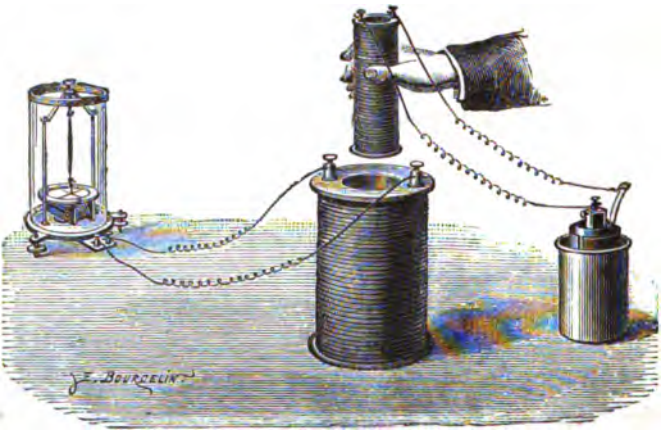
Die galvanische Induction.

7. Die dynamische Induction. Das Inductionsgesetz von Lenz. Ganz ebenso wie das Schliessen und Oeffnen der Batterie oder eine Zu- und Abnahme der Stromstärke in dem primären Drahte, wirkt auch eine rasche Annäherung oder Entfernung des von einem Strome durchflossenen primären Drahtes inducirend auf einen Nebendraht. Wird nämlich die Rolle dicken Drahtes (Fig. 19), welche man sich aus der anderen Rolle herausgezogen denkt, während ein Strom durch sie hindurchgeht, rasch der Rolle dünnen

Digitized by Google

Drahtes genähert oder, was dasselbe ist, wird die erst erwähnte Rolle schnell in die andere Rolle hineingesteckt, so

Fig. 19.



Die dynamische Induction.

entsteht ein Inductionsstrom, welcher, wie beim Schliessen der Batterie, dem Hauptstrome entgegengesetzt ist; bei rascher Entfernung beider Rollen von einander entsteht ein zweiter Inductionsstrom, welcher mit dem Batteriestrome gleiche Richtung hat.

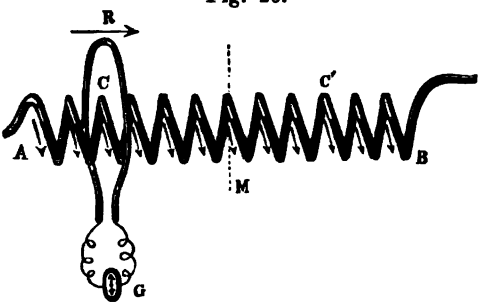
Beide Inductionsströme, von denen man den ersten den Näherungsstrom, den andern den Entfernungsstrom nennen kann, haben die Eigenschaften, welche wir in dem vorigen Paragraphen angegeben haben; der Näherungsstrom hat mit dem Hauptstrome die entgegengesetzte, der Entfernungsstrom die gleiche Richtung.

Hiernach ist es leicht, die inducirende Wirkung zu bestimmen, welche ein vom Strome in der Richtung von A nach B (Fig. 20) durchflossenes Solenoid auf einen ringförmigen Leiter R ausübt, welcher in derselben Richtung über dasselbe von einem Ende bis zum andern fortgeschoben wird. Um die einzelnen Windungen besser erkennen

Digitized by Google

zu können, sind dieselben in der Figur mit Absicht etwas von einander entfernt gezeichnet. Wenn sich der Ring

Fig. 20.



Die dynamische Induction.

von *A* bis *C* bewegt hat, so hat er sich von den links hinter ihm liegenden Windungen des Solenoids entfernt und der in ihm inducirte Entfernungsstrom hat dieselbe Richtung wie der Strom des Solenoids. Gleichzeitig aber hat er sich den rechts vor ihm liegenden Solenoid-Windungen genähert, und der dadurch in ihm inducirte Näherungsstrom hat zum Solenoidstrome die entgegengesetzte Richtung.

In dem Ringe *R* ist also in jedem Puncte seines Weges ein Inductionsstrom vorhanden, welcher die Differenz ist aus dem jedesmaligen Näherungs- und Entfernungsstrome. In dem Falle, der in Figur 20 angenommen, ist der Näherungsstrom bedeutend überwiegend über den Entfernungsstrom; im Puncte *C'* würde das Umgekehrte der Fall sein; in der Mitte *M* des Solenoids sind beide Ströme gleich stark und ihre Differenz ist Null: der Ring ist auf diesem Puncte stromlos.

Schiebt man den Ring von der Mitte *M* aus über das Solenoid nach dem Ende *B* hin, so ist der in ihm inducirte Strom ein Entfernungsstrom; bewegt man ihn dann in gleicher Weise über das Ende *B* des Solenoids weiter hinaus, so

Digitized by Google

dass sein Mittelpunct auf der Achse des letztern und seine Ebene senkrecht zu dieser Achse bleibt, so entfernt er sich nun von allen Windungen des Solenoids; es entsteht also auch bei dieser Bewegung wieder ein inducirter Entfernungsstrom. Dasselbe ist der Fall, wenn man den Ring, bevor er das Solenoid erreicht, aus einer gewissen Entfernung von *A* auf der Achse des Solenoids nach *A* hin bewegt, nur mit dem Unterschiede, dass hierbei der in dem Ringe auftretende Inductionsstrom vom Ausgange seiner Bewegung an bis zur Mitte *M* ein Näherungsstrom ist. Bewegt man daher den Ring von einer Stelle vor *A* über das ganze Solenoid hinweg bis zu einer Stelle über *B* hinaus, so tritt in der Mitte *M* des Solenoids ein Stromwechsel ein, und in dieser Stelle ist der Ring stromlos.

Mit Recht bemerkt *Gaugain* zu diesem Falle, dass nach seinen sehr ausgedehnten Untersuchungen die Stromstärke im Ringe nicht von der Anzahl der vor und hinter demselben liegenden Solenoid-Windungen allein abhänge, weil die inducirenden Wirkungen der letzteren bei den verschiedenen Entfernungen des Ringes nicht dieselben sind.

Die dynamische Induction bildet die Ergänzung zu den im §. 5 angeführten *Ampère*'schen Gesetzen. Verändert man nämlich in irgend einer Weise die Lage eines von einem Strome durchflossenen Leiters gegen einen geschlossenen stromlosen Leiter, so wird in dem letztern ein Strom inducirt. Welche Richtung dieser Inductionsstrom erhält, lässt sich durch folgendes, von *Lenz* aufgestelltes Gesetz im Voraus bestimmen:

Wird die gegenseitige Lage zweier Leiter *A* und *B*, von denen der erste A von einem Strome durchflossen, der zweite *B* geschlossen ist, geändert, so wird bei dieser Bewegung in *B* ein Strom von solcher Richtung inducirt, dass er durch eine elektrodynamische Einwirkung auf den Strom *A* diesem Stromleiter eine Bewegung ertheilt haben

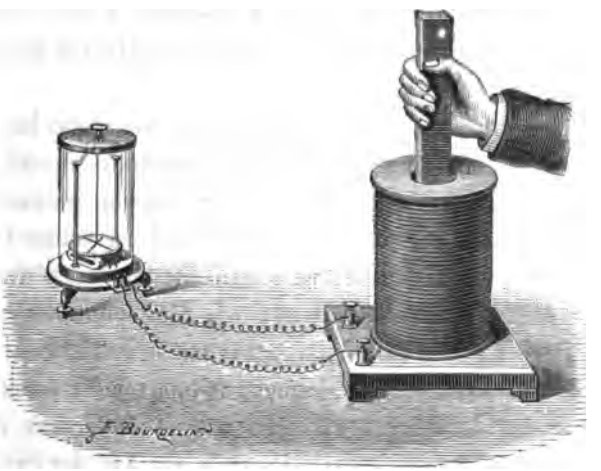
Digitized by Google

würde, welche derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche der Inductionsstrom hervorgerufen wurde.

8. Die Magnet-Induction. Nach *Ampère* erscheint ein Magnet als ein System paralleler, gleich weit von einander entfernter galvanischer Ströme, welche das Eisen senkrecht zu seiner Achse umkreisen. (§. 4.) Man kann daher die von einem Strome durchflossene Drahtrolle durch einen Magnet ersetzen und erhält dann dieselben Erscheinungen, welche man durch Annäherung oder Entfernung einer von einem Strome durchflossenen Rolle gegen eine stromlose Rolle erhält, und die in dem §. 7 beschrieben sind.

Schiebt man daher in die aus dünnem und gut isolirtem Drahte gebildete Spirale (Fig. 21) rasch einen Magnet, so entsteht in der Drahtspirale, wenn ihre Enden leitend, z. B. durch ein Galvanometer verbunden sind, ein Inductionsstrom. Bleibt dann der Magnet in Ruhe, so ist ein Inductionsstrom nicht vorhanden und die Nadel in dem Galvanometer

Fig. 21.



Die Magnet-Induction.

kehrt in die Ruhelage zurück. Sobald man jedoch den Magnet aus der Drahtrolle wieder entfernt, entsteht in letz

Digitized by Google

terer ein zweiter Inductionsstrom, der dem erstern entgegengesetzt ist.

Die auf diese Weise erzeugten Inductionsströme entstehen, wie die im vorigen Paragraphen behandelten, durch Bewegung (Annäherung oder Entfernung); zum Unterschiede jedoch von der durch die Bewegung einer Stromrolle entstehenden dynamischen Induction nennt man die durch die Bewegung eines Magnets erzeugte Induction die Magnet-Induction.

Die Richtung des bei der Bewegung eines Magnets gegen eine geschlossene Drahtrolle in dieser inducirten Stromes hängt ab von der Art der Bewegung (Annäherung oder Entfernung), von der Richtung der Drahtwindungen und von der Polarität desjenigen Endes des Magnetstabes (Süd- oder Nordpol), welcher bei der Bewegung des Magnets gegen die Drahtrolle am meisten von Einfluss ist.

Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass man, um die magnet-inducirten Ströme zu erhalten, eben so gut die Drahtrolle gegen den Magnet bewegen kann, als, wie im Vorstehenden angenommen wurde, den Magnet gegen die feststehende Drahtrolle.

Um für alle Fälle auf die einfachste Weise die Richtung eines durch den Magnet inducirten Stromes zu erhalten, betrachtet man den Magnet als ein System von galvanischen Strömen, welche den Eisenkern senkrecht zu seiner Längsrichtung derart umkreisen, dass sie auf dem nach dem Beschauer hingerichteten Südpole wie die Zeiger einer Uhr laufen. (§. 4.) Es gilt dann bezüglich der Richtung eines durch die Bewegung des Magnets inducirten Stromes alles das, was im §. 7 über die dynamische Induction gesagt worden ist, d. h. man erhält je nach der Art der relativen Bewegung von Magnet und Drahtrolle Näherungsströme oder Entfernungsströme oder auch beide zugleich.

Um jeden Magnetpol verbreitet sich nach §. 3 ein magne-

Digitized by Google

tisches Feld, und die Beobachtung lehrt, dass jede Veränderung in diesem magnetischen Felde stärkend oder schwächend auf den Pol einwirkt. Es ist daher auch nicht nöthig, dass man, um in einer Drahtrolle Inductionsströme zu erzeugen, einen Magnetpol in dieselbe hineinstecke oder aus derselben entferne, vielmehr genügt jede Bewegung des Magnets gegen die Drahtrolle zur Seite oder vor derselben, um in ihr einen Strom zu induciren, wenn diese Bewegung nur innerhalb des magnetischen Feldes geschieht. Je energischer diese Bewegung erfolgt und je mehr dadurch das ursprüngliche Gleichgewicht im magnetischen Felde gestört wird, desto stärker ist der erzeugte Inductionsstrom. Die Erscheinungen an dem *Bell*'schen Telephone zeigen, dass selbst die raschesten Bewegungen einer eisernen Platte im magnetischen Felde eines Magnetpoles, wie sie von einer dünnen vibrirenden Lamelle dicht vor einem Magnetpole ausgeführt werden, von entsprechenden zu- oder abnehmenden Inductionsströmen begleitet sind.

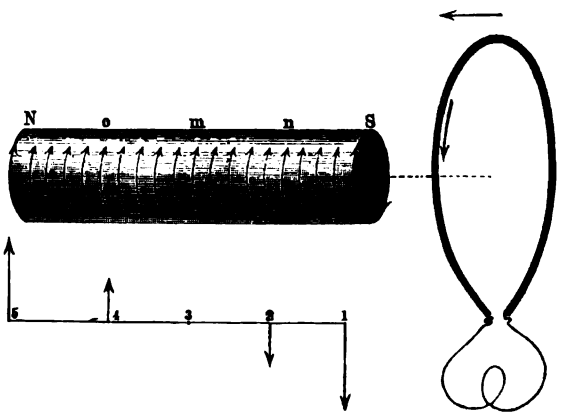
Von welcher Tragweite die Magnet-Induction ist, welche in allen unseren weiteren Untersuchungen die Hauptrolle spielt, sieht man schon daraus, dass sie ein Mittel darbietet, um ohne Anwendung der überaus lästigen galvanischen Batterieen durch die blosse Bewegung eines kräftigen Magnets gegen eine geschlossene Drahtrolle, oder der Drahtrolle gegen einen feststehenden Magnet entsprechend starke Inductionsströme zu erzeugen, welche zwar jedesmal nur von sehr kurzer Dauer sind und in der Reihe ihrer Aufeinanderfolge abwechselnd entgegengesetzte Richtungen haben, sonst aber alle Eigenschaften der gewöhnlichen Batterieströme besitzen und daher zu medicinischen Zwecken, zum Betriebe von elektrischen Telegraphen, Läutewerken, Uhren, zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes, zu metallischen Niederschlägen (Galvanoplastik), zum Telephoniren u. s. w. verwendet werden können.

Digitized by Google

9. Bewegung eines Magnets gegen einen geschlossenen Drahtring. Es ist nun nicht schwer, im Voraus zu bestimmen, was eintritt, wenn man einen Magnetstab *S N*, Fig. 22, einem geschlossenen Drahtringe nähert und ihn durch denselben so hindurchführt, dass die Ebene des Ringes senkrecht zu der Achse des Magnetstabes *S N* bleibt.

Bei der Annäherung des Magnetpoles *S* gegen den Ring nähern sich alle Solenoidströme des Magnets, welche die auf demselben verzeichnete Richtung haben, dem Drahte; es entsteht daher im letztern so lange ein dieser Richtung entgegengesetzter Näherungsstrom, bis das Ende *S* des Magnetpoles in den Ring eintritt. Schiebt man den Magnet weiter vor, etwa bis *n*, so haben sich während dieser Bewegung alle zwischen *n* und *S* liegenden Ströme von dem Ringe entfernt, während sich die zahlreicheren zwischen *n*

Fig. 22.



Bewegung eines Magnets gegen einen Drahtring.

und *N* liegenden Ströme demselben noch immer genähert haben. Es entstanden also während der Bewegung gleichzeitig Entfernungsströme und stärkere Näherungsströme; letztere behielten das Uebergewicht, aber sie waren nicht

Digitized by Google

mehr so stark, als vorher, wo sämmtliche Ströme von *S N* einen einzigen Näherungsstrom gaben.

Ist der Magnet bis zu seiner Mitte *m* durch den Ring gegangen, so werden sich bei weiterer Bewegung eben so viele Magnetströme vom Ringe entfernen, als sich deren ihm nähern; der Ring ist dann stromlos. Bei noch weiterm Vorschieben des Magnets, etwa so weit, bis *o* unter dem Ringe steht, haben die rechts vom Ringe befindlichen Entfernungsströme das Uebergewicht über die links liegenden Näherungsströme, und der Ring wird nun von einem dem vorigen Strome entgegengesetzt gerichteten Entfernungsstrome durchflossen, der bei weiterm Vorschieben des Magnets an Stärke zunimmt und sein Maximum erreicht, wenn *N* im Ringe steht.

Dass die Bewegung des Drahtringes über den feststehenden Magnetstab hinweg dasselbe Resultat ergibt, versteht sich von selbst. Bewegt man den letztern von Aussen gegen den Südpol *S* hin, so entsteht in ihm ein dem Magnet(Solenoid-)strom entgegengesetzter Näherungsstrom, wie er in dem Ringe durch einen Pfeil und unterhalb des Poles *S* durch den Pfeil 1 bezeichnet ist. Geht der Ring über *S* hinaus, etwa bis nach *n*, so nähert sich der Draht allen Solenoidströmen, die zwischen *n* und *N* liegen, entfernt sich aber von den wenigeren zwischen *n* und *S* liegenden Solenoidströmen. Es entsteht also in dem Ringe auf diesem Wege ein Inductionsstrom, der die Differenz ist zwischen dem Näherungsstrome und dem kleinern, dem Solenoidstrome gleichgerichteten Entfernungsstrome. Dieser Inductionsstrom hat daher noch die Richtung des bisherigen Stromes 1, aber eine geringere Intensität; wir können ihn daher mit dem etwas kleiner gezeichneten Pfeile 2 versinnbilden. Bei weiterer Bewegung des Drahtringes von *n* bis nahe an die Mitte *m*, die Indifferenzstelle des Magnets *S N*, nähert er sich noch immer einer Zahl von Solenoidströmen, die grösser ist als die Zahl der-

Digitized by Google

jenigen, von welchen er sich entfernt; der Inductionsstrom im Ringe ist daher immer noch überwiegend ein Näherungsstrom von der bisherigen Richtung, nimmt aber an Intensität beständig ab, je mehr mit der Annäherung des Ringes an die Mitte *m* die Zahlen der Solenoidströme, denen er sich nähert und von denen er sich entfernt, sich gleich kommen. Ueber der Indifferenzstelle *m* selbst ist daher die Stromstärke im Ringe gleich Null, und bei weiterer Bewegung desselben nach *N* hin tritt das Umgekehrte von Obigem ein. Bei der Bewegung von *m* bis *o* ist die Zahl der rechtsliegenden Ströme, von denen er sich entfernt, grösser als die der linksliegenden, denen er sich nähert. Der Entfernungsstrom ist jetzt über den Näherungsstrom überwiegend und das Resultat beider Wirkungen ist ein dem Solenoidstrome gleichgerichteter Entfernungsstrom, der auf dem Wege von *m* bis *N* seine Richtung unverändert beibehält und an Intensität in dem Maasse wächst, als der Ring sich dem Pole *N* nähert. Diese letzteren Ströme können wir daher der Richtung und Stärke nach mit den Pfeilen 4 und 5 versinnbilden.

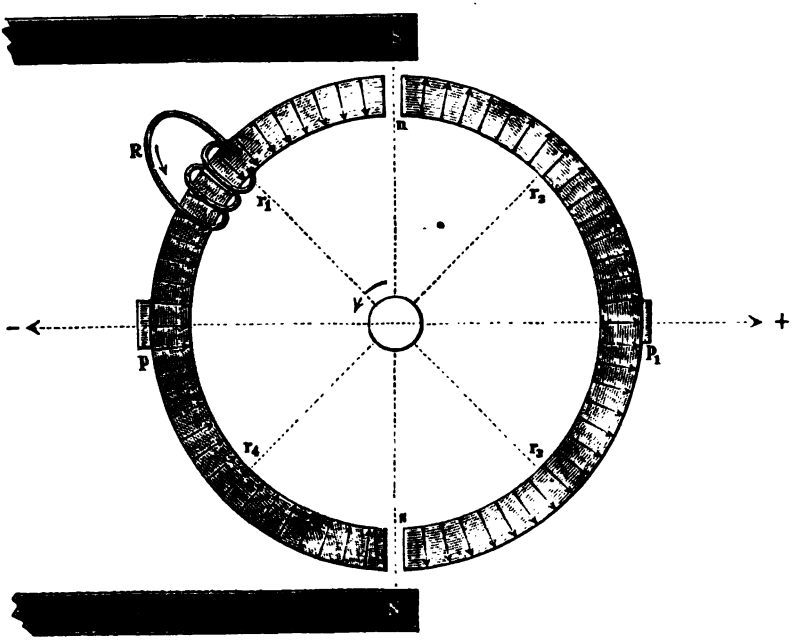
Hiernach ist es nun nicht mehr schwer, den Vorgang der Inductionswirkungen in einem Ringe zu verstehen, welcher mit einer continuirlichen Drahtspule umwunden ist und in Folge der inducirenden Wirkung zweier sehr nahe an den Endpuncten eines Durchmessers stehender fester Magnetpole *S N* (Fig. 4) ebenfalls zwei diametral einander gegenüberstehende Pole *n s* hat, welche bei der Rotation des Ringes um seine Achse ihre Stelle im Raume nicht verändern.

10. Rotation eines mit einer continuirlichen Drahtspule umwundenen (des Gramme'schen) Ringes zwischen den Polen eines Magnets. Ist der Ring, der in Wirklichkeit an keiner Stelle unterbrochen ist, mit einem einzigen nirgends unterbrochenen Drahte spiralförmig umwickelt, so wird (Fig. 23, s. f. S.) ein jeder Drahtring bei der Drehung des Eisenringes um die

Digitized by Google

Achse alle Puncte des Umkreises in der Richtung p, r_1, n, r_2, p_1 u. s. w. der Reihe nach durchlaufen, er wird dabei stets an denselben Stellen des Raumes sowohl vor S und N vorbeigehen, als auch an denselben Stellen über die im Eisenkerne stets neu sich entwickelnden, aber unverändert stehen bleibenden inneren Pole n s hinweggehen, so dass die von diesen Polenpaaren auf die einzelnen Drahtringe ausgeübte Inductionswirkung dieselbe ist, als wenn der Eisenring feststehen bliebe und nur die Drahtspirale sich um ihren innern Eisenkern in der gedachten Richtung hinwegbewegte.

Fig. 23.



Stromlauf im Gramme'schen Ringe.

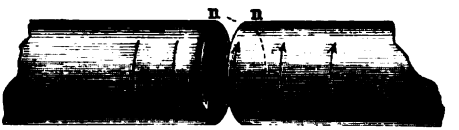
Der Einfachheit wegen nehmen wir statt der ganzen Spirale nur einen kleinen Theil derselben, eine kurze, aus einer oder ein paar Windungen bestehende Drahtrolle R

Digitized by Google

an und lassen dieselbe, etwa von p aus, in der genannten Richtung p, r_1, n u. s. w. um den Eisenkern herumlaufen.

Den mit zwei Polen $n\,s$ versehenen innern Ring denken wir uns des leichtern Verständnisses halber an diesen Polen entzwei geschnitten und die dadurch entstandenen Polflächen ein wenig aus einander gerückt, wie es in der Figur 24 deutlicher hervortritt. Es entstehen dadurch zwei halbkreisförmige Magnete, in denen die gleichnamigen Pole einander zugewandt sind. Wir stellen uns einen jeden dieser Magnete nach der *Ampère*'schen Theorie (§. 4) als ein System von parallelen, zur magnetischen Achse senkrecht stehenden Strömen (Solenoid) vor, die in gleicher Stärke und in gleichen Abständen den Eisenkern umkreisen und eine solche Richtung haben, dass sie auf dem einem Beschauer zugewandten Südpole laufen wie die Zeiger einer Uhr, auf dem Nordpole also eine dem Uhrzeiger entgegengesetzte Bewegungs-Richtung haben.

Fig. 24.



Die Solenoidströme um einen Doppelpol.

Wie die Figur 24 zeigt, haben diese Ströme auf einem Doppelpole, z. B. $n\,n$, und zu beiden Seiten desselben für einen zur Seite stehenden Beobachter auf einer und derselben Seite des Ringes entgegengesetzte Richtungen, und zwar diejenigen der Pfeile, wenn man sich nur die vordere, dem Beschauer zugekehrte Seite des Ringes vorstellt.

Wir wollen nun zuerst die Drahtrolle R (Fig. 23) nach einander in ihren Hauptlagen, in den Polstellen n und s und in den Indifferenzpuncten p und p_1 betrachten und annehmen, dass sie plötzlich aus ihrer Ruhelage in der angegebenen Rich-

Digitized by Google

tung nur um ein äusserst kleines Stück fortbewegt werde; in diesem Falle wird sich R den vor ihr liegenden Solenoidströmen nähern, aber sich von den hinter ihr liegenden Solenoidströmen entfernen, und die Intensität der durch diese Bewegung entstehenden Inductionsströme (Näherungs- und Entfernungsströme) wird abhängig sein von der Zahl und von der Richtung der vor und hinter der Rolle angenommenen Solenoidströme.

Um unsere Betrachtung noch mehr zu vereinfachen, wollen wir bei der kleinen Bewegung der Rolle R den inducirenden Einfluss nur bei denjenigen Solenoidströmen in Erwägung ziehen, welche sich zu beiden Seiten der Rolle auf eine Entfernung von 90° erstrecken, die weiter entfernten, im entgegengesetzten Halbkreise liegenden Solenoidströme dagegen vernachlässigen, weil sie bei ihrer grösseren Entfernung von der Rolle nahezu ohne Einfluss sind. Man gelangt übrigens in Bezug auf die Richtung der erzeugten Inductionsströme zu denselben Resultaten, gleichviel ob man die zuletzt genannten entfernteren Magnetströme mit in Rechnung bringt oder nicht. Die vier Abstände pn, np_1, p_1s, sp theilen wir wieder nur der Einfachheit wegen in gleiche Theile und betrachten dann die Rolle R auch in diesen, von den Hauptpuncten um 45° entfernten Lagen r_1, r_2, r_3, r_4. Auf diese Weise entstehen acht Abschnitte in dem Kreisumfange des Magnetringes, von denen ein jeder gleich viele, aber keineswegs immer gleichgerichtete Solenoidströme enthält.

Durch die sehr klein gedachte Bewegung der Drahtrolle aus ihrer Ruhelage entsteht eine elektromotorische (inducirende) Wirkung der Solenoidströme auf den Draht der Rolle, so dass in demselben ein galvanischer Strom entsteht. Diese elektromotorische Kraft der Solenoidströme einer jeden der acht Abtheilungen nennen wir e, wenn diese Ströme an die Rolle angrenzen, dagegen e_1, wenn sie um 45° von der Rolle entfernt liegen. Wir bezeichnen ausserdem die Rich-

Digitized by Google

tung des positiven Inductionsstromes der Rolle R mit +, wenn er in dem dem Beschauer zugekehrten Theile des Drahtes (in der Figur voll gezeichnet) die Richtung von der Aussenseite des Eisenringes nach dem Mittelpuncte hin hat, dagegen geben wir dem positiven Inductionsstrome das Zeichen —, wenn er in demselben Drahttheile die Richtung von innen nach aussen, oder vom Mittelpuncte abgewendet hat. Dem entsprechend bezeichnen wir auch die genannten elektromotorischen Kräfte der Solenoidströme e und e_1 mit + oder —, je nachdem sie in der Rolle einen positiven Inductionsstrom nach dem Mittelpuncte des Ringes hin oder vom Mittelpuncte nach aussen erzeugen. Wir erinnern daran, dass nach §. 7 die inducirten Näherungsströme dem inducirenden Solenoidstrome entgegengesetzt, die Entfernungsströme dagegen dem letztern gleichgerichtet sind.

1) Befindet sich die Rolle R in dem Indifferenzpuncte p, der Mitte zwischen n und s, und wird sie in der Richtung $s\,p\,n$ ein wenig nach n hingebracht, so entfernt sie sich von allen Solenoidströmen, die zwischen p und s liegen, und nähert sich zugleich eben so vielen gleichgerichteten Solenoidströmen, die zwischen p und n liegen. Die elektromotorischen Kräfte aller zu beiden Seiten der Rolle im halben Umkreise liegender Solenoidströme wird daher nach der angenommenen Bezeichnungsweise sein $+ e_1$, $+ e - e_1 - e$ oder Null. Die Rolle R erhält daher bei ihrem Durchgange durch die Indifferenzstelle p keinen Strom; in diesem Puncte angekommen, ist sie stromlos. Dasselbe gilt offenbar für den Fall, dass sie die Indifferenzstelle p_1 passirt.

2) Befindet sich die Rolle genau über dem Doppelpole n und erhält sie dann eine kleine Bewegung nach rechts hin, so entfernt sie sich von den links zwischen n und p liegenden und nähert sich gleich vielen rechts zwischen n und p_1 liegenden entgegengesetzten Solenoidströmen. Die elek-

Digitized by Google

tromotorische Kraft sämmtlicher zwischen $p\ n\ p_1$ befindlicher Solenoidströme ist daher $+ e_1 + e + e + e_1 = 2\,e + 2\,e_1$; der durch diese Summe der elektromotorischen Kräfte entstehende Inductionsstrom hat, wie sich sogleich ergeben wird, die grösste Intensität, welche er bei jeder Bewegung der Drahtrolle auf dem ganzen Wege des Ringumfanges erreichen kann. Die Richtung dieses maximalen Stromes ist +, d. h. in den dem Beschauer zugekehrten vorderen Drahttheilen der Rolle hat der Inductionsstrom die Richtung von aussen nach dem Mittelpuncte des Ringes hin, wie es auf der ersten Windung der Rolle angedeutet ist.

3) Befindet sich die Rolle genau über dem Doppelpole s und bewegt sie sich in derselben Richtung wie vorhin eine sehr kleine Strecke weiter, so entfernt sie sich von allen zwischen s und p_1 liegenden, und nähert sich ebenso vielen entgegengesetzten zwischen s und p liegenden Solenoidströmen. Die elektromotorische Kraft aller dieser Magnetströme ist daher $-e_1 - e - e - e_1 = -2\,e - 2\,e_1$. Der durch diese elektromotorischen Kräfte erzeugte Inductionsstrom hat daher dieselbe Intensität, wie auf dem Doppelpole n, aber seine Richtung ist in den vorderen dem Beschauer zugekehrten Drahttheilen die entgegengesetzte und zwar vom Mittelpuncte weg.

4) Steht die Rolle in der Mitte r_1 zwischen der Indifferenzstelle p und dem Pole n, so treten bei einer kleinen Bewegung derselben nach n hin die zwischen r_4, r_1, r_2 liegenden Magnetströme in Wirksamkeit. Die Rolle entfernt sich von allen zwischen r_1 und r_4 liegenden Strömen, woraus eine elektromotorische Kraft gleich $+ e_1 + e$ resultirt; sie nähert sich aber allen zwischen r_1 und r_2 liegenden Magnetströmen, von denen die erste Hälfte die Richtung nach dem Mittelpuncte hin, die andere Hälfte die entgegengesetzte Richtung hat; die hieraus entstehende elektromotorische Kraft ist daher $- e + e_1$. Mithin ist die ganze elektro-

Digitized by Google

motorische Kraft, welche in diesem Falle auf die Rolle wirkt, gleich $+ e_1 + e - e + e_1$ oder $+ 2 e_1$. Die Rolle erhält also bei ihrem Durchgange durch den Punct r_1 einen Strom, der dieselbe Richtung hat wie der Strom, welcher auf dem Pole n inducirt wird, dessen Intensität jedoch kleiner ist, als die des letzern. Es ergibt sich aus der Anschauung der Figur sofort, dass die Grösse der elektromotorischen Kräfte e und e_1 von der Anzahl der wirksamen Solenoidströme abhängig ist, und dass der durch die elektromotorische Kraft $+ 2 e_1$ erzeugte Inductionsstrom um so stärker wird, je mehr die Rolle sich dem Doppelpole n nähert.

5) Befindet sich die Rolle R in r_2, der Mitte zwischen n und p_1, so sind bei ihrer nächsten Bewegung nach p_1 hin die Magnetströme zwischen den Puncten r_1, r_2, r_3 in Betracht zu ziehen. Die Rolle entfernt sich von allen zwischen r_1, r_2 liegenden Solenoidströmen und nähert sich allen zwischen r_2 und r_3 liegenden Strömen; die gesammte aus dieser Bewegung der Rolle resultirende elektromotorische Kraft setzt sich daher zusammen aus $+ e_1 - e + e + e_1 = + 2 e_1$. Der hierdurch erzeugte Inductionsstrom hat also wieder dieselbe Richtung wie auf dem Pole n; ausserdem hat dieser Strom die gleiche Intensität mit dem im Puncte r_1 erzeugten Strome.

Aus den vorstehenden Erörterungen ergibt sich sonach, dass, wenn man die Rolle R von p aus über die Puncte r_1, n, r_2 bis p_1 des polarisirten Eisenringes schiebt, ununterbrochen ein Inductionsstrom erzeugt wird, der bei p Null ist, dann immer stärker wird und über dem Pole n am stärksten ist, der dann wieder abnimmt und bei p_1 abermals Null wird. Dieser Strom behält während der ganzen Dauer der Bewegung von p über n bis p_1 seine Richtung unverändert bei, und zwar in den dem Beschauer zugekehrten Drahttheilen der Rolle nach dem Mittelpuncte des Eisenringes hin.

Digitized by Google

6) Ist bei fortgesetzter Bewegung die Rolle in r_3 angekommen, so sind bei der ferneren nächsten Bewegung die Solenoidströme zwischen r_2, r_3, r_4 in Wirksamkeit, die elektromotorische Kraft derselben ist dann $-e_1 - e + e - e_1 = -2e_1$; der Inductionsstrom der Rolle hat nun die entgegengesetzte Richtung wie vorhin und circulirt in den vorderen Drahttheilen der Rolle in der von der Achse abgekehrten Richtung. Die Intensität des Stromes ist dieselbe wie in den Puncten r_1 und r_2.

7) Steht endlich die Rolle im Puncte r_4 mitten zwischen p und s, so sind die von den Solenoidströmen zwischen r_3, r_4, r_1 entwickelten elektromotorischen Kräfte offenbar $-e_1 + e - e - e_1 = -2e_1$. Der Inductionsstrom der Rolle behält also seine Richtung bei, die er bereits in r_3, s und r_4 besass, und seine Intensität ist wieder dieselbe, wie in den Puncten r_1, r_2 und r_3.

Es ergibt sich hieraus, dass, wenn man die Rolle R von p_1 aus über die Puncte r_3, s, r_4 bis p des polarisirten Eisenringes hinweg schiebt, ebenfalls ununterbrochen ein Inductionsstrom erzeugt wird, der bei p_1 Null ist, dann immer stärker wird und über dem Pole s am stärksten ist, der dann aber wieder abnimmt und bei p abermals Null ist. Dieser Strom behält während der ganzen Dauer der Bewegung von p_1 über s bis p seine Richtung unverändert bei, und zwar in den dem Beschauer zugekehrten Drahttheilen von dem Mittelpuncte des Eisenringes hinweg nach aussen hin. Fassen wir diese Ergebnisse unserer Untersuchung in Bezug auf den Vorgang der Inductionswirkung während eines ganzen Umlaufs der Drahtrolle zusammen, so kommen wir zu folgendem Resultate:

In dem magnetischen Indifferenzpuncte des Eisenringes ist die Rolle stromlos; gleich darauf beginnt der Inductionsstrom aufzutreten, anfangs von geringer Intensität, dann immer stärker werdend, bis er auf dem Pole das Maximum

Digitized by Google

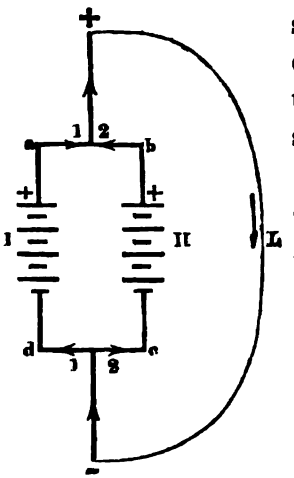
seiner Intensität erreicht; letztere nimmt dann wieder ab, um auf dem zweiten magnetischen Indifferenzpuncte wieder Null zu werden. Während dieser Zeit bleibt die Richtung des Stromes unverändert dieselbe. Gleich darauf wechselt der nun wieder auftretende Strom seine Richtung; er erreicht immer stärker werdend über dem zweiten Pole des Eisenringes das zweite Maximum seiner Intensität, nimmt dann wieder ab und wird bei der ersten Indifferenzstelle, von welcher die Rolle ausgegangen war, wieder Null.

Was wir in dem Vorherigen von der Drahtrolle *R* gesagt haben, gilt auch von jeder anderen, mit welcher der Eisenring besetzt ist, und wir gewinnen nun sofort eine klare Anschauung dessen, was geschieht, wenn der ganze Ring von einer fortlaufenden Reihe solcher Drahtspulen umgeben ist, welche alle derart mit einander verbunden sind, dass sie eine einzige nirgendwo unterbrochene metallische Leitung darstellen, in welcher es keinen Anfangspunct und keinen Endpunct gibt. Die Inductions-Erscheinungen sind in Bezug auf die Richtung der sich entwickelnden Ströme dieselben, mag man dieses lose Drahtgewinde um den feststehenden polarisirten Eisenring herumlaufen lassen oder den Eisenring mit dem fest darauf gewickelten Drahte um seine Achse drehen. Die Doppelpole des Ringes behalten in beiden Fällen ihre unveränderte Lage im Raume und zu allen auf dem Ringe befindlichen Drahtrollen, wenn letztere in grosser Zahl sich dicht aneinanderschliessen. In einer einzelnen Drahtspule treten bei ihrem Umlaufe um den Eisenkern die vorhin beschriebenen Inductionsströme nacheinander auf; bei den zahlreich auf dem Eisenkern aufgewundenen Spulen finden sie gleichzeitig statt. Während über jeden der beiden Doppelpole in jedem Augenblicke eine Spule hinweggeht und hier die grösstmöglichen Ströme von entgegengesetzter Richtung empfängt, befinden sich gleichzeitig andere Spulen in allen möglichen anderen Lagen zu diesen Polen. In allen

Digitized by Google

Spulen, welche sich auf der einen Seite des durch die magnetischen Indifferenzpuncte gezogenen Durchmessers des Ringes befinden, entstehen gleichzeitig Inductionsströme von einer und derselben Richtung, aber von verschiedener Stärke, welche sich summiren und einen einzigen Strom dieser Richtung bilden; in allen Spulen, welche sich auf der entgegengesetzten Seite dieses Durchmessers befinden, entstehen gleichzeitig mit diesem Strome Inductionsströme von ungleicher Stärke, die ebenfalls unter sich dieselbe Richtung haben, den vorigen Strömen aber entgegengesetzt sind. Auch diese Ströme summiren sich und stellen einen einzigen Strom dar, welcher dem vorigen Strome entgegengesetzt ist. Da nun die Spulen der einen Hälfte des Ringes mit denen der zweiten Hälfte eine ununterbrochene Leitung bilden, so heben diese beiden gleichzeitig entstehenden, gleich starken und entgegengesetzt gerichteten Stromsysteme einander auf und es circulirt bei der Drehung des Ringes um seine Achse kein Strom in seiner Drahtwindung.[1])

Fig. 25.



Zwei auf Quantität gekuppelte Batterien.

Nichts desto weniger bleiben die elektromotorischen Kräfte oder die inducirenden Wirkungen der Solenoidströme auf die Drahtwindungen des Ringes während der Rotation desselben beständig in Thätigkeit. Es ist ganz so, als wenn man die gleichnamigen (+) Pole zweier gleich starker galvanischer Batterien I und II (Fig. 25) mit einander

1) Die directe Einwirkung der äusseren festen Magnetpole auf die rotirenden Drahtspulen bleibt einstweilen ausser Betracht; ebenso die durch die Verschiebung der inducirten Pole des Ringes in dem Eisen erzeugte molekulare Veränderung.

Digitized by Google

verbindet; ungeachtet die elektromotorischen Kräfte dieser Batterien wirksam sind, heben sich doch die dadurch erzeugten Ströme in ihrer Wirksamkeit gegenseitig auf, und es ist ausserhalb der Batterien, z. B. in dem Schliessungsdrahte + *ab* +, kein Strom wahrzunehmen. Dennoch lassen sich die elektromotorischen Kräfte dieser beiden Batterien ausnutzen; man braucht zu diesem Zwecke nur die untereinander verbundenen gleichnamigen Pole, also je einen Punct der Drähte *a b* und *c d*, durch einen gemeinschaftlichen Schliessungsdraht *L* zu verbinden und erhält dann in dieser Leitung einen Strom in der Richtung des beigesetzten Pfeiles. Man sagt bekanntlich von einer solchen Batterie-Verbindung, dass man sie auf Quantität gekuppelt habe, während man die hintereinander erfolgende Verbindung der einzelnen Elemente einer Batterie die Kuppelung auf Intensität oder Spannung nennt.

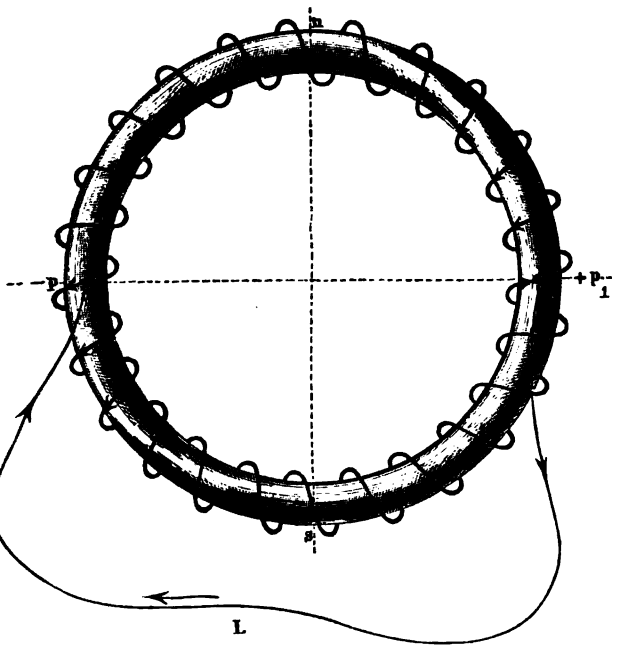
Ganz dasselbe kann mit dem Ringe geschehen, indem die beiden Stromsysteme, welche in den einzelnen hintereinander auf Spannung gekuppelten Drahtrollen jedes Halbringes als Summenströme von entgegengesetzter Richtung auftreten, in ihren auf den Indifferenzstellen liegenden Puncten durch Verbindung dieser Stellen mittelst eines Schliessungsdrahtes nach aussen abgeleitet werden. Es wird dieses sofort durch die Abbildung (Fig. 26, s. f. S.) klar werden.

In dieser Figur ist der Eisenring mit einer ununterbrochen fortlaufenden Spirallinie umgeben, von welcher wir wie bisher annehmen wollen, dass der voll ausgezeichnete Theil dieser Linie dem vor der Ringfläche stehenden Beschauer zugewandt sei. Die im Innern des Ringes liegenden inducirten Magnetpole seien wieder *n* und *s*, die magnetischen Indifferenzstellen *p* und p_1. Jede einzelne Windung der Spirallinie soll eine ganze Drahtspule bezeichnen, so breit, dass alle Spulen dicht aneinanderschliessen, und so gewunden,

Digitized by Google

dass der Endpunct jeder vorhergehenden Spule mit dem Anfangspuncte der nächstfolgenden verbunden ist und der ganze Drahtverlauf über alle Theile des Ringes eine und dieselbe Richtung hat. Durch die bei der Drehung des Ringes zwischen den beiden dicht über n und s liegenden festen Magnetpolen, die hier nicht gezeichnet sind, wird dann in den Spulen des oberhalb des Durchmessers $p\ p_1$ liegenden Ringtheiles ein Strom erzeugt, dessen Richtung nach dem Mittelpuncte hingerichtet und durch die in den Spiraldrähten eingezeichneten Pfeile angegeben ist. Ebenso entsteht in den unterhalb dieses Durchmessers liegenden Drahtspulen ein Strom, dessen entgegengesetzte Richtung ebenfalls durch Pfeile angedeutet ist.

Fig. 26.



Der Stromlauf in dem Gramme'schen Ringe.

Beide Ströme heben sich als gleich stark auf, so lange sie nicht nach aussen abgeleitet werden. Auf den Indifferenz-

Digitized by Google

stellen begegnen sich dieselben, wie in der Fig. 25 zwischen den mit *a* und *b* resp. *c* und *d* bezeichneten entgegengesetzten Pfeilspitzen; verbindet man diese Treffpuncte der entgegengesetzten Ströme durch einen Leitungsdraht *L*, so findet nun eine Circulation beider Stromsysteme durch *L* statt, und zwar in folgender Weise. Bei p_1 begegnen sich in irgend einem Puncte (*a*, *b*) die Ströme von oben und von unten her, ergiessen sich in den mit diesem Puncte metallisch verbundenen Schliessungsdraht *L*, laufen in der Richtung des beigesetzten Pfeiles durch diesen Draht, gelangen bei *p* auf dem gemeinsamen Treffpuncte (*c*, *d*) wieder auf das Drahtgewinde, spalten sich hier nach oben und nach unten hin wieder in die beiden zuerst genannten Stromsysteme und bilden so während der ganzen Dauer der Rotation einen continuirlichen und constanten Strom, der ausserhalb der Maschine in der Leitung *L* eine unveränderliche Richtung hat. Die Indifferenzstellen erscheinen hierbei als die beiden Pole (+ und —) zweier auf Quantität gekuppelter galvanischer Batterien, von denen jede einzelne aus ebenso vielen auf Spannung gekuppelten Elementen besteht, als Drahtspulen auf einem Halbringe vorhanden sind.

Die Stromstärke ist nicht, wie bei der Bewegung einer einzelnen Drahtrolle, in den verschiedenen Theilen des Ringes verschieden, sondern in allen Drahttheilen von gleicher Stärke, und zwar gleich der Summe aller von den einzelnen Spulen erzeugten Ströme, weil in jedem Momente diese alle gleichzeitig entstehen.

Die Stetigkeit und Constanz dieses Gesammtstromes rührt davon her, dass bei der raschen Rotation des Ringes, welche auf 800 bis 2000 Touren per Minute gesteigert werden kann, jede einzelne Spule sofort in die Lage der vorhergehenden einrückt, und daher trotz des beständigen Wechsels oder des Ueberganges einer bestimmten Stromstärke von einer Spule zur nachfolgenden doch der aus allen einzelnen

Digitized by Google

Spulströmen sich zusammensetzende Gesammtstrom keine Veränderung weder in der Continuität noch in der Stärke erleidet. Die Drahtwindung des Ringes wird daher bei hinlänglich grosser Geschwindigkeit der Drehung so lange von einem continuirlichen und constanten Strome durchlaufen, als diese Geschwindigkeit selbst constant bleibt.

Je grösser diese Geschwindigkeit ist, desto mehr Elektricität wird von den Solenoidströmen in der Zeiteinheit erzeugt, und desto grösser ist auch der Gesammtstrom in den Windungen des Ringes und in der Leitung ausserhalb der Maschine, weil diese Menge der erzeugten Elektricität den Querschnitt des Drahtes in der Zeiteinheit passiren muss. Versuche haben ergeben, dass die elektromotorische Kraft der Geschwindigkeit der Drehung proportional ist.

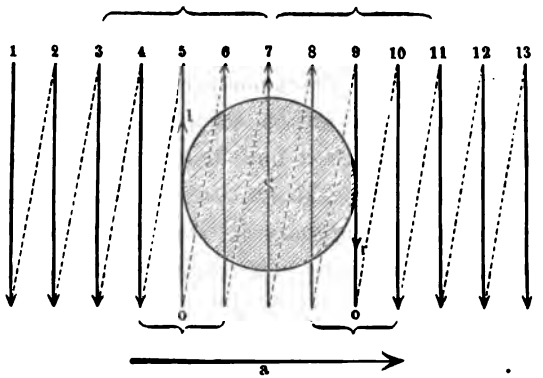
In dem Vorstehenden haben wir bloss den Einfluss des polarisirten Eisenkerns mit seinen zwei Doppelpolen und seinen beiden Indifferenzstellen in Betracht gezogen; es bleibt noch übrig, zu untersuchen, welchen Einfluss die äusseren festen Magnetpole unmittelbar auf die Drahtspulen ausüben. Zu diesem Zwecke denken wir uns den Eisenkern aus den ihn umgebenden Drahtrollen entfernt und diese allein wie in der bisher angenommenen Richtung um die gemeinschaftliche Achse gedreht.

S (Fig. 27) sei der Südpol des ausserhalb der Drahtspulen stehenden festen Magnets, den wir uns vertical aufrecht und senkrecht zur Ebene des Papiers denken. In diesem Falle liegen unterhalb und in der unmittelbaren Nähe dieses Poles die oberen und unteren Windungen der Drahtrollen wagerecht oder in der Ebene des Papiers. Es stellen die Linien 1, 2.... 13 die in der Wirklichkeit dicht nebeneinander liegenden oberen, dem Pole *S* zugekehrten Windungen einer oder mehrerer Drahtspulen dar; die unteren Hälften dieser Windungen sind nicht gezeichnet und man muss sich die gezeichneten oberen Hälften mit den ent-

Digitized by Google

sprechenden unteren Drahttheilen vereinigt und zu einer zusammenhangenden Spirale verbunden denken, welche sich links und rechts an die übrigen Drahtspulen anschliesst, wie es durch die punctirten Linien angedeutet ist. Wir

Fig. 27.



Bewegung der Drahtspule unter einem Magnetpole.

nehmen an, dass die Windungen gleich weit von einander abstehen, dass 7 durch den Mittelpunct des Poles *S* geht und dass 6 und 8, 5 und 9, 4 und 10, 3 und 11, 2 und 12 gleich weit von diesem Mittelpuncte entfernt sind, was ja auch in der Wirklichkeit bei der Rotation der Drahtspiralen der Fall ist. Der Pfeil *a* gibt die Richtung der Bewegung an.

Den Magnet betrachten wir wieder nach *Ampère* als ein System von Solenoidströmen; es circuliren dann diese Ströme auf der den oberen Drahtwindungen 1, 2 ... nach unten zugekehrten Südpolfläche *S* wie der Zeiger einer Uhr, was durch die beigesetzten Pfeile *l r* angedeutet ist. Bei der Bewegung der Drahtwindungen in der Richtung des Pfeiles *a* kommen offenbar zumeist nur diejenigen seitlichen Theile des Solenoidstromes zur inducirenden Wirkung, welche parallel zu den Drahtstücken, 1, 2 ... laufen, weil die anderen, z. B. die im Abstande von 90° senkrecht zu diesen Drahttheilen laufenden oberen und unteren Theile auf die-

Digitized by Google

selben Drahtstücke zwei einander entgegengesetzte Wirkungen ausüben und daher in ihrer Gesammtwirkung sich aufheben.

Wenn die blossen Drahtspulen ohne innern Eisenkern unter dem Pole *S* wegrotiren, so übt letzterer auch auf die unteren nicht gezeichneten Drahtwindungen, welche die Fortsetzung der Drahttheile 1, 2 ... bilden, eine inducirende Wirkung aus, und zwar von derselben Art wie auf die oberen; beide Wirkungen würden sich aufheben, wenn sie gleich stark wären. Da dieses in der Wirklichkeit nicht der Fall ist, vielmehr die Inductionsströme in den oberen, dem Pole *S* am nächsten stehenden Drahttheilen 1, 2 ... stärker sind als die Ströme der unteren Windungen, so ist das Resultat der inducirenden Wirkung des Poles *S* auf die unter ihm weglaufenden Drahtrollen ein Differenzstrom, der um so schwächer sein wird, je näher die genannten oberen und unteren Drahttheile einander stehen oder je flacher die Drahtrollen sind. Wir haben uns daher nur noch mit den in der Figur gezeichneten oberen Drahttheilen 1, 2 ... zu beschäftigen. Wenn diese sich in der Richtung des Pfeiles *a* unter dem Pole *S* fortbewegen, so nähern sich alle Drähte 1..4, die links von *S* liegen, dem Solenoidstrome *l* und erhalten einen der Richtung *l* entgegengesetzten Inductionsstrom, der in 1...4 durch die untere Pfeilspitze angedeutet ist. Diese Drähte nähern sich zwar auch dem Solenoidstrome *r* und erhalten dadurch einen entgegengesetzten Inductionsstrom; aber der Einfluss des Stromtheiles *l* ist wegen der grösseren Nähe grösser als der des Stromtheiles *r*, und das Resultat ist wieder ein Differenzstrom von der durch die unteren Pfeile in 1...4 angegebenen Richtung.

Die Drähte 10, 11, 12, 13 entfernen sich sämmtlich von den Solenoidströmen *r* und *l*, wobei *r* überwiegend wirksam ist; das Resultat dieser Bewegung ist ein mit *r*

Digitized by Google

gleichgerichteter Differenzstrom, dessen Richtung durch die in 10...13 unten gezeichneten Pfeilspitzen angegeben ist. Es ist klar, dass die Ströme in den Drähten 1, 2, 3, 4 und in 10, 11, 12, 13 eine und dieselbe Richtung haben, und zwar in den vorderen seitlichen Drahttheilen, welche dem gegen die Ringfläche schauenden Beobachter zugekehrt sind, von auswärts nach dem Mittelpuncte der Drehung hin.

Anders gestaltet sich die Sache für die Drahttheile 6, 7, 8, welche die Polfläche *S* erreicht haben und dieselbe bestreichen. Draht 6 entfernt sich von dem Solenoidstrome *l* und nähert sich *r*; der Entfernungsstrom aber ist überwiegend und hat dieselbe Richtung wie der Strom *l*, er ist in 6 oben durch die Pfeilspitze angegeben und hat eine dem benachbarten Strome 4 entgegengesetzte Richtung. Wenn, wie angenommen, 4 und 6 von *l* gleich weit entfernt sind, haben sie sehr nahe eine gleiche Intensität und heben sich auf. Dasselbe geschieht mit den Strömen 8 und 10, von denen ersterer das Resultat der Entfernung von *l* und der Annäherung an *r* ist. Zwischen 4 und 6 und wieder zwischen 8 und 10 tritt ein Stromwechsel ein, wobei für einen Moment in den betreffenden Drahttheilen 5 und 9 der Strom gleich Null ist. Der durch die Mitte des Poles *S* gehende Draht 7 entfernt sich von *l*, während er sich gleichzeitig *r* nähert; das Resultat dieser Bewegung ist daher ein Summenstrom in der Richtung, welche durch die beiden Pfeilspitzen in 7 angedeutet ist. Bei gleicher Entfernung der Drähte 3 und 7 von *l* und der Drähte 11 und 7 von *r* sind die Einzelströme des in 7 erzeugten Summenstromes einander nahe gleich und entgegengesetzt und heben sich auf. Es ist daher in sämmtlichen zwischen *l* und *r* sich bewegenden Drahtwindungen der Strom gleich Null.

In dem Vorstehenden ist bloss die inducirende Wirkung der beiden den Drähten parallelen Solenoidströme *l* und *r* in Betracht gekommen, während doch auch die übrigen am

Digitized by Google

Umfange des Kreises rechts und links von l und r liegenden Solenoidstromtheile, mit Ausnahme der beiden zu den Drähten senkrecht stehenden Ströme, wirksam sind. Will man auch diese seitlichen Ströme in Betracht ziehen, so zerlege man jeden Strom in zwei Seitenströme, von denen die eine Componente senkrecht, die andere aber parallel zu den Drähten ist. Der erstere Strom ist unwirksam, der andere aber wirkt in gleichem Sinne wie l oder r, je nachdem der zerlegte Strom links oder rechts von dem durch den Mittelpunct des Poles S gehenden Drahte 7 liegt.

Wir können hiernach das Ergebniss der directen Einwirkung des festen Poles S auf die ohne Eisenkern unter ihm weglaufenden Drahtspulen dahin zusammenfassen, dass in allen dem Pole S sich annähernden und in allen sich von ihm entfernenden Windungen ein schwacher Inductionsstrom entsteht. Vergleicht man die Richtung dieses durch die Pfeilspitzen in 1, 2 ... 13 angedeuteten Stromes mit dem früher besprochenen Strome, der durch die Induction der inneren im rotirenden Eisenkern liegenden Pole erzeugt wird, so findet man sofort, dass beide Ströme in den gleichliegenden Theilen der den Eisenkern umgebenden Drahtspulen eine und dieselbe Richtung haben und sich daher unterstützen. Dass der zweite feste Pol N, welcher dem Pole S diametral gegenüber steht, in gleicher Weise wirkt, ist leicht einzusehen.

Unsere letzte Untersuchung geht davon aus, dass die rotirenden Drahtspulen keinen inneren Eisenkern enthalten, und daher der äussere Pol S nicht nur auf die ihm zunächst liegenden oberen Windungen 1, 2 ... 13, sondern auch auf die um 180° davon entfernt liegenden unteren Drahttheile inducirend einwirkt.

Das Resultat beider Wirkungen war ein Differenzstrom. In der Wirklichkeit aber, wo der eiserne Kern in den Drahtspulen vorhanden ist, verhindert das entgegengesetzt pola-

Digitized by Google

risirte Eisen die directe Einwirkung der äusseren festen Pole auf die unteren, entfernt von ihnen liegenden Theile der Drahtspulen; und es ist klar, dass dadurch der Einfluss dieser Pole auf die oberen, ihnen zunächst liegenden Drahttheile fast zur vollen Wirkung gelangt und der Gesammtstrom bedeutend verstärkt wird.

Nach *Gramme* liegt auch in dem Umstande, dass sich durch die Einwirkung des weichen Eisenkerns die magnetische Wirkung des permanenten äusseren Magnets mehr auf einen Punct concentrirt und dadurch die inducirende Kraft erheblich grösser wird, ein wesentliches Moment zu der Verstärkung des Gesammtstromes in seiner Maschine.

Ausser diesen einfacheren Vorgängen, welche durch die Rotation des mit Drahtspulen umgebenen Eisenringes zwischen den äusseren Magnetpolen in den Drahtrollen auftreten, gibt es noch eine Reihe von Erscheinungen, welche aus den zum Theil sehr verwickelten Einwirkungen herrühren, welche die Drähte auf einander und rückwärts auf die Pole ausüben. Wir vermeiden aber diese nebensächlichen Erörterungen, da sie uns zu weit von dem Zwecke dieser Abhandlung abführen und an dem Gesammtergebnisse unserer Untersuchung nichts Wesentliches ändern.

11. Rotation eines Inductors über den Polen eines Magnets. Umgibt man ein stabförmiges Stück *A B* (Fig. 28) weichen Eisens mit einer Drahtrolle *C*, oder auch die Enden *m*

Fig. 28.

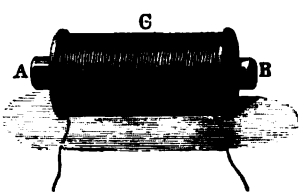
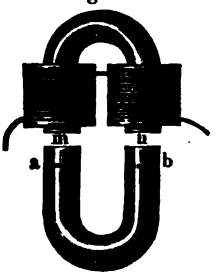


Fig. 29.



Der Inductor.

Digitized by Google

und *n* (Fig. 29) eines hufeisenförmig gebogenen Stückes weichen Eisens *c* mit entsprechenden Drahtrollen, so nennt man diese Vorrichtung einen Inductor, sobald sie den Zweck hat, inducirte Ströme in der geschlossenen Drahtrolle zu erzeugen.

Anstatt nun, wie in §. 8 (Fig. 21), einen Magnet in die Drahtrolle hineinzustecken oder daraus zu entfernen, kann man auch den durch die Bewegung des Magnets erzielten Einfluss auf die Drahtrolle dadurch herbeiführen, dass man den Inductor *m n* einem Magnet *d* schnell nähert oder ihn davon entfernt. Wenn man nämlich das weiche Eisen *c* einem Magnet *a b* nähert, so wird es durch Vertheilung selbst magnetisch (§. 2); der gleichsam schlummernde Magnetismus wird plötzlich erregt, oder vielmehr die Moleküle des Eisens gerathen in Bewegung und ordnen sich in diejenige Form, in welcher wir das Eisen magnetisch nennen; es bringt dann die Annäherung der Eisenkerne *m* und *n* an die Magnetpole *a* und *b* ganz dieselbe Wirkung hervor, als wenn ein Stahlmagnet gegen die Drahtrolle hin bewegt worden wäre.

Durch die Entfernung des weichen Eisens *c* von dem Magnet *a b* verliert dasselbe den Magnetismus wieder, und es bringt daher die Entfernung der umwickelten Eisenkerne *m*, *n* von den Polen *a*, *b* dieselben Erscheinungen hervor, die bei der Entfernung eines Stahlmagnets von einer Drahtrolle entstehen.

Ertheilt man daher dem Inductor *c* eine rotirende Bewegung, so dass die Enden *m*, *n* des Eisenkerns sehr nahe an den Polen *a*, *b* des feststehenden Stahlmagnets vorüber rotiren, so wird, wenn die Windungen des Drahtes, wie in Fig. 29, auf beiden Schenkeln dieselbe Richtung haben und geschlossen sind, wenn ferner das Ende *n* von dem Pole *b*, und *m* von *a* sich wegbewegt, die Entfernung der Rolle *n* von dem Südpole *b* einen Inductionsstrom in dem Schliessungs-

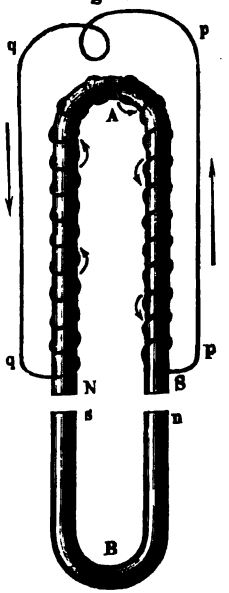
Digitized by Google

drahte hervorrufen, welcher dieselbe Richtung hat wie derjenige, der aus der Entfernung der Rolle *m* von dem Nordpole *a* entsteht.

Um hiervon eine klare Anschauung zu erhalten, vergegenwärtige man sich die Art der Drahtwindungen auf beiden Schenkeln eines Elektromagnets (§. 1); denn die Richtung der Windungen eines Inductors (Fig. 29) stimmt mit dem Verlaufe des Umwindungsdrahtes in einem Elektromagnet ganz überein.

Die Figur 30 stellt einen solchen Inductor dar, in welchem die einzelnen Drahtwindungen etwas von einander gezogen sind, um alles besser übersehen zu können. Durch die rasche Annäherung des Eisenkerns *A* gegen einen feststehenden Stahlmagnet *B* entsteht in dem erstern eine Bewegung des Magnetismus; dem Südpole *s* gegenüber bildet sich plötzlich ein Nordpol *N*, dem Nordpole *n* gegenüber ein Südpol *S*. Diese molekulare Bewegung im Eisenkerne *A* aber wirkt auf die Drahtspirale ganz so, als ob man bei *N* einen Nordpol und bei *S* einen Südpol in dieselbe hineingesteckt (angenähert) habe, und die Folge hiervon ist, dass in den Windungen eines jeden Schenkels ein Strom inducirt wird. Beide Ströme sind Näherungsströme und haben als solche die entgegengesetzte Richtung derjenigen Ströme, welche man sich nach *Ampère* um die Pole *n* und *s* kreisend denkt.

Fig. 30.



Richtung des Stromes in einem Inductor.

Vergegenwärtigt man sich die Richtung dieser Ströme, wie sie in §. 4 näher angegeben ist, so findet man leicht, dass beide Näherungsströme in den Spiralwindungen, in

Digitized by Google

gleichliegenden Theilen derselben (wie in einem geradlinigen Drahte), vom Beschauer aus gesehen, zwei entgegengesetzte Richtungen haben, wie es durch die beigesetzten Pfeile angedeutet ist, dass sie aber in dem Schliessungsdrahte *p q*, der die Windungen beider Schenkel vereinigt, gleiche Richtung haben und sich daher gegenseitig verstärken.

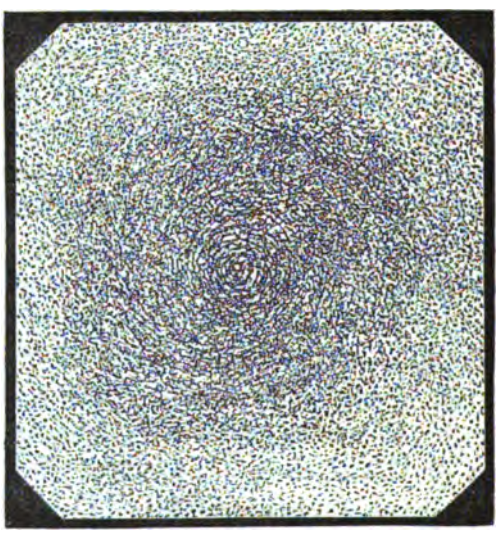
Bei jeder halben Umdrehung des Inductors *c*, Fig. 29, entstehen also in der Zeit der Annäherung an die Pole *a* und *b* des Stahlmagnets zwei gleichgerichtete Inductionsströme in dem Verbindungsdrahte ausserhalb der Drahtrollen; bei jeder folgenden halben Umdrehung aber entsteht wieder gleichzeitig ein Paar unter sich gleichgerichteter Ströme, welche jedoch wegen des Entfernens der Inductorrollen von den Polen des Magnets eine entgegengesetzte Richtung haben im Vergleich mit dem ersten Paare.

12. Das magnetische Kraftfeld. Bei den bisherigen Betrachtungen haben wir uns die Magnete immer ersetzt gedacht durch die Wirkung gewisser elektrischer Ströme. Für viele Fälle ist es aber bequemer und einfacher, den andern Weg einzuschlagen und die inducirenden elektrischen Ströme sich ersetzt zu denken durch gewisse Magnete. — Gerade so wie die Magnete elektrische Wirkungen ausüben, ebenso zeigen die elektrischen Ströme magnetische Wirkungen. Man nehme ein Stück steifen Papiers, durchsteche dasselbe mit einem dicken Kupferdraht, dessen Enden man mit einer kräftigen galvanischen Batterie verbindet und bestreue das Papier nun wieder mit Eisenfeile, so ordnet sich dieselbe unter der Einwirkung des galvanischen Stromes in eigenthümlicher Weise nach dem Bilde Figur 31 (s. S. 54). Die Eisenfeile bildet concentrische Kreise um den Kupferdraht und gibt uns hiedurch Aufschluss über die Richtung der magnetischen Kräfte, welche vom elektrischen Strome auf die Eisenstäbchen ausgeübt werden, da die letzteren sich in

Digitized by Google

die Richtung der magnetischen Kräfte legen. Diese Richtung fällt in jedem Puncte mit der Tangente des durch diesen gehenden, zum Drahte concentrischen Kreises zusammen. Fig. 32 (s. S. 55) zeigt ein Stück des Drahtes, der vom galvanischen Strome durchflossen wird und es sind die magnetischen Kraftlinien angedeutet, welche in kreisförmigen Spiralen den Draht umwinden.

Fig. 31.



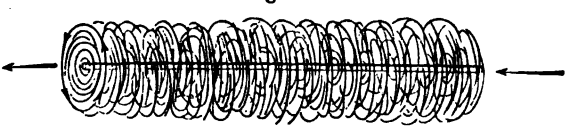
Das magnetische Kraftfeld eines galvanischen Stromes.

Man kann desshalb auch von dem magnetischen Felde eines galvanischen Stromes sprechen und will damit sagen, dass man sich bei der betreffenden Betrachtung die Wirkung des galvanischen Stromes ersetzt denkt durch diejenige von passend angeordneten Magneten. Dadurch wird die Untersuchung oft ungemein vereinfacht und man hat den grossen Vortheil, dass man sich jeden Moment ein dem Auge sichtbares Bild von der Beschaffenheit des magnetischen Kraftfeldes, gleichviel ob herrührend von Magneten oder elek-

Digitized by Google

trischen Strömen, verschaffen kann. Dazu ist nur nöthig, in dasselbe ein mit Eisenfeile bestreutes Blatt Papier zu bringen und dann die entstehenden Curven, welche von der Eisenfeile gebildet werden, aufmerksam zu betrachten. Die Form der Curven gibt uns Aufschluss über die Richtung der magnetischen Kräfte; aber auch über die Intensität erlaubt uns das Bild einen Schluss, wie die mitgetheilten Proben zeigen. Wo die Kraft gross ist, sind die Curven scharf und dick und werden dann dünner und verschwommen, je schwächer der Einfluss der Kraft wird. Wenn man ein solches Kraftfeld graphisch darstellen will, verfährt man gewöhnlich so: man charakterisirt die Richtung der Kraft in jedem Puncte des Feldes durch die Kraftlinien, die Intensität der Kraft dadurch, dass man die Kraftlinien nach einem bestimmten Maassstabe um so näher zusammen zeichnet, je stärker die magnetische Kraft ist. Eine nach diesen Principien angefertigte Zeichnung gibt Aufschluss über alles, was man wissen muss, um die inducirende elektrische Wirkung des magnetischen Kraftfeldes zu kennen. Der Einfachheit halber wollen wir zuerst ein homogenes magnetisches Kraftfeld betrachten. In einem solchen ist die Richtung der Kraft überall die gleiche, die Kraftlinien sind desshalb parallele Curven; aber auch die Intensität der Kraft ist überall gleich, die Abstände aller dieser Curven von einander sind desshalb gleich gross. Fig. 36 stellt ein solches Feld dar. In §. 8 haben wir

Fig. 32.



Magnetische Kraftlinien eines elektrischen Stromes.

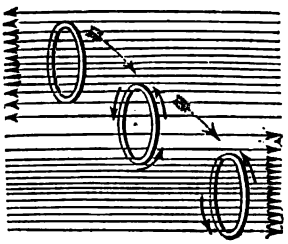
gesehen, dass Inductionsströme entstehen, wenn eine Drahtspule einem Magnet genähert oder von ihm entfernt wird.

Digitized by Google

Offenbar ist das Wesentliche dabei, dass die Spule rasch von einem Orte mit starker magnetischer Kraft, von einem stark magnetischen Felde, an einen Ort mit schwacher magnetischer Kraft, in ein schwaches magnetisches Feld oder umgekehrt gebracht wird.

Fig. 33 zeigt diese Bewegung eines einfachen Kupferringes in einem nicht homogenen magnetischen Felde. Im obern Theile des Feldes sind die Kraftlinien von rechts nach links gerichtet. Die Intensität nimmt erst etwas zu, dann wieder ab und ist in der Mitte Null, dort wechseln

Figur 33.



Bewegung eines Ringes in einem nicht homogenen magnetischen Felde.

die Kraftlinien die Richtung und gehen nun von links nach rechts, die Intensität nimmt wieder rasch zu und dann zuletzt wieder etwas ab. Es ist dasselbe Kraftfeld, welches die Mitte der Fig. 7 zeigt und hervorgebracht wird durch zwei Magnetstäbe, welche mit entgegengesetzten Polen einander gegenüber liegen. Wenn wir nun den Kupferring von der ersten Stelle mit dichten Kraftlinien nach der Mitte des Kraftfeldes bewegen, wo die Kraftlinien viel weniger dicht sind, so wird bei dieser Bewegung ein Strom inducirt, von der in der Figur eingezeichneten Richtung. Wird jetzt der Ring aus der Mitte in die dritte Lage verschoben, wo die Kraftlinien wieder dicht aber umgekehrt gerichtet sind, so ist der Effect derselbe, die Wirkung noch stärker. Die 3 verschiedenen Lagen sind nun wesentlich dadurch von

Digitized by Google

einander ausgezeichnet, dass in denselben die Anzahl der Kraftlinien, welche der Ring schneidet, sowie die Richtung derselben verschieden ist. Bei dieser Betrachtungsweise ist also die Bedingung für die Entstehung der inducirenden Kraft, den Ring so zu bewegen, dass die Anzahl der Kraftlinien, welche er schneidet, oder die Richtung derselben verändert wird. Wenn er aber so bewegt wird, dass keine Veränderung der Zahl oder der Richtung der geschnittenen Kraftlinien eintritt, dann ist auch die inducirende Wirkung dieser ausgeführten Bewegung Null. Solche Fälle zeigen Fig. 34 und 35. Wir können nun aber auch in einem homogenen magnetischen Kraftfelde den Ring so bewegen, dass die Anzahl oder die Richtung der durchschnittenen

Fig. 34.

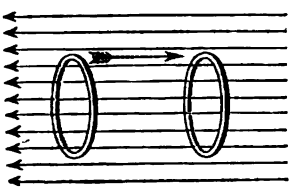
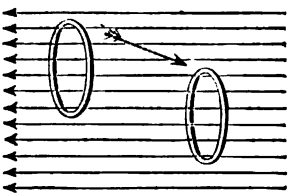


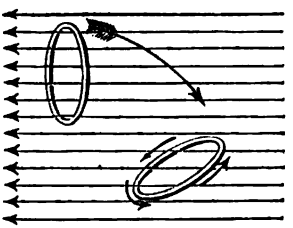
Fig. 35.



Bewegung eines Ringes in einem homogenen magnetischen Felde ohne Induction.

Kraftlinien verändert wird, indem wir ihn drehen um eine Achse senkrecht zur Richtung der Kraftlinien. Diese Art der Induction, welche besonders in neuester Zeit sehr wichtig geworden ist, sucht Fig. 36 zu verdeutlichen.

Fig. 36.



Rotirende Bewegung eines Ringes in einem homogenen magnet. Felde.

Digitized by Google

II. Abtheilung.

Die elektrischen Messmethoden und Messinstrumente.

13. Die elektrische Energie. In allen Zweigen der Physik gründen sich die genauen Messmethoden auf den Satz, dass eine Summe gegebener „Energie" oder lebendiger Kraft stets dieselbe bleibt, in welcher Form sie auch erscheinen mag.

Wir bezeichnen mit dem Namen der Energie alle Aeusserungen oder Kundgebungen elementarer Naturkräfte, gleichviel, ob sie in der Form von Wärme, von Licht, von Elektricität, von chemischer Verwandtschaft oder sonstwie in die Erscheinung treten; und gleichviel, ob diese Aeusserungen der Naturkräfte uns zu Gebote stehen als latente, ruhende Energie (der Lage) oder als actuelle Energie (der Bewegung).

Elektrische Energie kann erzeugt werden durch ein galvanisches Element, eine Thermosäule, eine Reibungs-Elektrisir-Maschine, durch eine magnet-elektrische oder eine dynamo-elektrische Maschine, die von Hand oder mittelst eines Gasmotors oder einer mächtigen Dampfmaschine getrieben wird; allen diesen Maschinen wird Energie in irgend einer Form mitgetheilt und von ihnen gut oder schlecht in elektrische Energie verwandelt. Das Element oxydirt Zink, die Thermosäule erfordert Wärme und auf die drei anderen Arten von Maschinen wird mechanische Arbeit in verschie-

Digitized by Google

dener Weise übertragen. Um nun zu wissen, ob die eine oder die andere Vorrichtung zur Verwandlung einer gewissen Form von Energie in Elektricität die zweckmässigere ist, muss die Menge der von ihr verbrauchten und der in Form von Elektricität gelieferten Energie gemessen werden. Die Aufgabe des Elektrotechnikers geht indessen noch weiter. Ihm ist die Elektricität nur ein Mittel zum Zweck. Nachdem er eine Vorrichtung construirt hat, welche eine Quantität mechanischer Energie möglichst vollständig in elektrische Energie umsetzt, ist es seine zweite Aufgabe, Apparate zu construiren, welche es ermöglichen, diese elektrische Energie für praktische Bedürfnisse auszunutzen, sei es durch Transformation derselben in Licht bei der elektrischen Beleuchtung, in mechanische Arbeit bei der Kraftübertragung, in chemische Energie bei der Galvanoplastik, oder in Wärme zur Heizung von Wohnräumen, und für andere Bedürfnisse mehr. In solchen Fällen ist wieder zu messen, wie viel Licht, mechanische Arbeit, chemische Energie, Wärme durch die construirte Vorrichtung aus einem gewissen Quantum elektrischer Energie gewonnen werden kann.

Alle diese Vorgänge, denen sich noch zahlreiche andere ähnlicher Art an die Seite setzen lassen, verlangen zu ihrem Verständnisse und ihrer Beherrschung eine Summe von Wissen aus allen Zweigen der Physik, insbesondere von Erscheinungen aus dem Gebiete der Elektricität, des Magnetismus und der Wärme, die sich jedoch fast alle in jedem Lehrbuche der Physik vorfinden. Weniger ist dies der Fall mit den verschiedenen Umsetzungen der elektrischen Energie in Licht, mechanische Kraft oder umgekehrt, die sich alle wie die übrigen Vorgänge in der Natur nach Maass und Zahl abspielen. Hierzu kommt, dass erst durch die allerneuesten Arbeiten auf demjenigen Gebiete der Physik, welches die Umsetzung der Kräfte vorzugsweise behandelt,

Digitized by Google

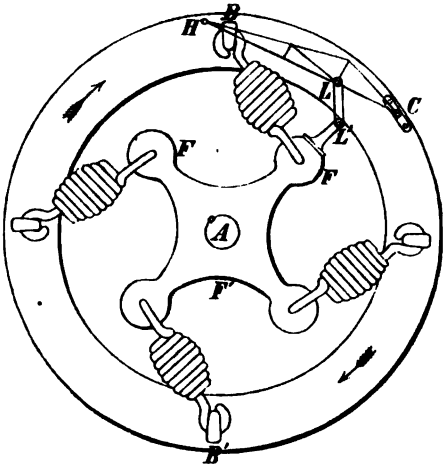
neue Maasseinheiten eingeführt und die gegenwärtig geltenden erst auf dem Pariser Congresse (1881) endgültig festgestellt worden sind. Alles dieses vereinigt sich dahin, dass derjenige, der auf dem gegenwärtigen Gebiete der Elektrotechnik ernsthafte Studien machen will, nicht bloss mit den älteren empirischen Maassen, sondern auch mit den jetzt geltenden C. G. S. (Centimeter- Gramm- Secunde-) Einheiten des sogenannten absoluten Maasssystems, bekannt sein muss. Auf dieses System haben die Physiker schon jetzt eine grosse Zahl zum Theil sehr complicirter Messinstrumente aufgebaut, die der experimentirende Praktiker genau kennen muss, wenn er irgendwie verlässliche Angaben seiner Beobachtungen erhalten will. Die folgende Abtheilung wird sich demgemäss auch mit den genannten Maass-Einheiten, den wichtigeren neueren Messinstrumenten und deren Gebrauch für die Praxis beschäftigen.

14. Das Dynamometer von Ayrton und Perry. Die mechanische Arbeit wird allgemein gemessen durch Pferdestärken zu 75 mkg pro Sekunde. Die Pferdestärke ist diejenige mechanische Arbeit oder Energie, welche geleistet wird, wenn die Masse 1 kg der Einwirkung der Schwerkraft entgegen 75 m in der Secunde gehoben wird. Bei den dynamo-elektrischen Maschinen ist es von grösster Wichtigkeit, dass ihre Rotationsgeschwindigkeit möglichst constant, also auch die auf sie wirkende Kraft immer dieselbe bleibt. Man hat desshalb Dynamometer construirt, welche gestatten, in jedem Augenblicke die übertragene Arbeit genau zu controliren. Das von den Professoren Ayrton und Perry construirte Dynamometer misst die übertragene Arbeit durch Federspannung. Ein starkes Kreuzstück F' (Fig. 37) mit vier Ansätzen ist auf die von einer Dampfmaschine oder von einem sonstigen Motor getriebene Welle A fest aufgesetzt, vier starke Spiralfedern verbinden die vier Ansätze F des Kreuzstückes mit einer Scheibe $B\,B'$,

Digitized by Google

welche auf der Welle A lose aufsitzt. Die Scheibe $B\ B'$ überträgt die Kraft auf die dynamo-elektrische Maschine z. B. dadurch, dass sie als Riemenscheibe dient oder mit der Verlängerung der Welle der dynamo-elektrischen Maschine fest verbunden ist; wird dann A in der Richtung der in der Figur angegebenen Pfeile von der Dampf-

Fig. 37.



Dynamometer von Ayrton & Perry.

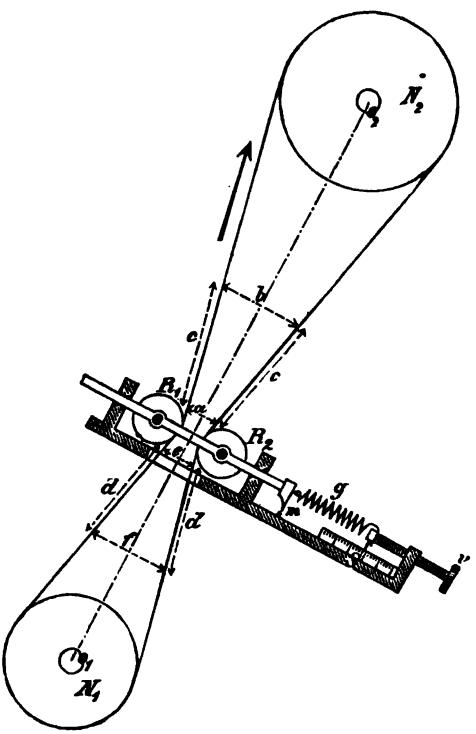
maschine gedreht, so wird die Bewegung durch die Spiralfeder auf die Rolle $B\,B'$ und durch sie auf die dynamo-elektrische Maschine übertragen. Je grösser die übertragene Kraft ist, um so mehr werden die Federn gedehnt, und um so mehr wird die Achse A mit dem Kreuzstück F gegen die Rolle B verdreht. Diese Verdrehung ist innerhalb gewisser Grenzen proportional der auf die Feder wirkenden Kraft. Man misst ihre Grösse gewöhnlich auf optischem Wege. Bei dem Dynamometer der Professoren Ayrton und Perry geschieht dies auf folgende Art: An der Rolle $B\,B'$ ist ein bei C drehbarer Hebel angebracht, der durch die Stange $L\,L'$ mit dem Kreuzstück F verbunden ist. Das Ende dieses Hebels H wird der Achse A durch die Stange $L\,L'$

Digitized by Google

um so mehr genähert, je mehr bei der Rotation die Riemenrolle BB' hinter der Welle A zurück bleibt, d. h. je grösser die übertragene Kraft ist. Das Ende H des Hebels trägt ein glänzendes Knöpfchen, welches bei der raschen Drehung der Welle dem Auge als heller Kreis erscheint; der Halbmesser dieses Kreises kann an einer Scala, welche in der gleichen Höhe wie die Achse aufgestellt ist, abgelesen werden. Die Scala ist so eingetheilt, dass die Ablesungen direct die Grösse der übertragenen Kraft in Pferdestärken angeben.

15. Das Dynamometer von v. Hefner-Alteneck. Die eben betrachtete Zusammensetzung des Dynamometers aus zwei

Fig. 38.

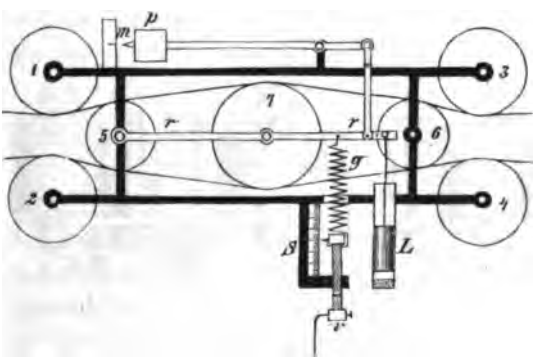


Dynamometer von v. Hefner-Alteneck. (Altes Modell.)

Digitized by Google

durch Federn gekuppelten Rollen wurde zuerst vom General *Morin* angegeben. Sie ist bequem für stationäre Anlagen und für Fälle, wo nicht eine sehr grosse Genauigkeit beansprucht wird. Für genaue Messungen wird in letzter Zeit ausschliesslich das Dynamometer von v. Hefner-Alteneck benutzt. Das Princip desselben macht Fig. 38 deutlich. Der Apparat besteht aus zwei fest mit einander verbundenen Rollen, R_1 und R_2, zwischen welchen der um die Riemenscheiben N_1 und N_2 geschlungene Treibriemen hindurchgeführt ist, derart, dass die Rollen R_1 und R_2 und die Riementheile eine zur Verbindungslinie der beiden Scheibenachsen O_1 und O_2 genau symmetrische Figur bilden, so lange die Riementheile eine gleichmässige Spannung besitzen. Wird jedoch durch den Riemen eine Kraft übertragen, so weicht wegen der stärkeren Spannung des ziehenden Riementheiles gegenüber dem gezogenen das Rollenpaar R_1 und R_2 in der Richtung nach dem erstern aus, und es ist die Kraft, welche nöthig ist, um das Rollenpaar wieder in seine ursprüngliche Mittelstellung zurückzubringen, proportional der Differenz der Spannungen im ziehenden und gezogenen Riementheile, d. h. proportional der im gleichen Momente übertragenen Kraft. Dieselbe

Fig. 39.



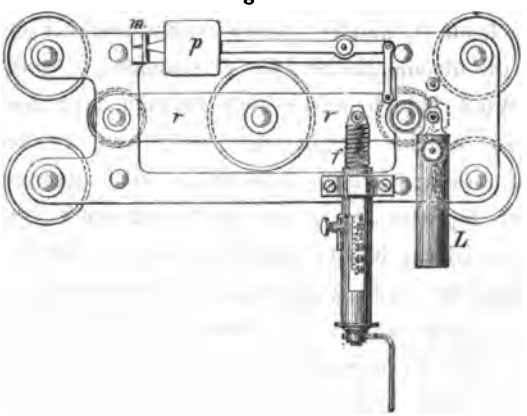
Dynamometer von v. Hefner-Alteneck. (Schematisch.)

Digitized by Google

wird gemessen durch die Feder g, welche mittelst der Schraube v so stark gespannt wird, dass sie das Rollenpaar R_1 und R_2 wieder zum Einspielen auf die Marke m bringt. Die Grösse dieser Spannung kann direct auf der Scala S abgelesen werden.

Den Apparat in der Form, die er für die praktische Verwendung gefunden hat, zeigen die Fig. 39, 40, 41. Er besteht im Wesentlichen aus sieben Rollen, deren Anordnung schematisch Fig. 39 zeigt. Sechs derselben, die in der Figur mit 1 bis 6 bezeichneten, sind in einem

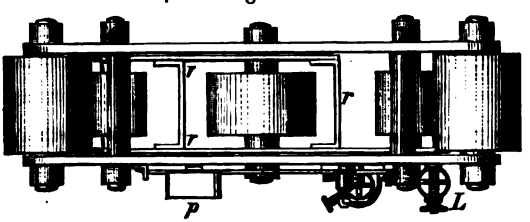
Fig. 40.



Dynamometer von v. Hefner-Alteneck. (Vorderansicht.)

eisernen Rahmengestell fest mit einander verbunden, die

Fig. 41.



Dynamometer von v. Hefner-Alteneck. (Seitenansicht.)

siebente in der Mitte liegende Rolle ist in einem um die Achse der Rolle 5 beweglichen Rahmen r gelagert,

Digitized by Google

so dass sie aus ihrer Mitte nach beiden Seiten etwas ausweichen kann. Bei dieser Ausweichung wird der mit dem Rahmen *r* verbundene Zeiger *p* gegenüber der Marke *m* verschoben und kann durch Spannung der Feder *g* wieder zum Einspielen gebracht werden. Der Riemen wird nun, wie in der schematischen Figur angegeben, durch dieses System von Rollen geführt, welches so angeordnet ist, dass bei gleichmässiger Spannung der Riementheile eine genau symmetrische Figur zur Mittellinie sich ergibt, wobei der Zeiger *p* genau auf die Marke *m* einspielt. Sobald durch den Riemen eine Kraft übertragen wird, so weicht die Rolle 7 nach der Richtung des gezogenen Riemens aus und verschiebt den Zeiger *p* gegenüber der Marke *m*. Um den letztern wieder zum Einspielen zu bringen, muss die Spannung der Feder *g* vergrössert werden. Diese Vergrösserung kann an der Scala *S* direct abgelesen werden und das Instrument ist so graduirt, dass ein Millimeter auf der Scala einem Kilogramm Spannungsdifferenz der Riementheile entspricht. Damit allzuheftige Schwankungen auf der Rolle 7 die Einstellung nicht erschweren, ist zur Dämpfung eine kleine Pumpe *L* angebracht, deren Kolben mit Wasser gefüllt ist.

16. Das Bremsdynamometer. Die bis jetzt betrachteten Dynamometer gestatten die Kraft, welche von dem Motor auf die Maschine übertragen wird, zu messen, ohne dass ein Theil derselben verloren geht. Für specielle Fälle, namentlich bei der elektrischen Kraftübertragung, ist die Anwendung des Bremsdynamometers wünschenswerth. Dasselbe misst die Grösse der von einem Motor während einer beliebigen Zeit wirklich verrichteten Arbeit, indem es gestattet, dass alle Arbeit während der Zeit, die der Versuch dauert, zur Ueberwindung der Reibung verwendet wird. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem Hebel, der an der Achse des Motors befestigt ist, der aber durch eine

Digitized by Google

gewisse Kraft, z. B. ein an denselben gehängtes Gewicht, verhindert wird, sich mit der Welle zu drehen. Die Grösse des Gewichtes, welches nöthig ist, um zu verhindern, dass der Hebel die Bewegung der Welle mitmacht, ist ein Maass für die Grösse der übertragenen Kraft. Diese ist um so grösser, je länger der Hebel und je grösser das an denselben gehängte Gewicht ist.

17. Der Tourenzähler. Die Dynamometer messen die Kraft an dem Umfang der treibenden Welle oder Rolle. Um die Grösse der übertragenen Arbeit zu kennen, welche gleich ist dem Producte aus Kraft mal zurückgelegten Weg, ist nun noch nöthig, die Umfangsgeschwindigkeit jener Achse oder Rolle zu wissen. Diese berechnet man leicht aus der Anzahl der Touren in der Minute und dem Durchmesser der Rolle.

Die genaue Bestimmung der Tourenzahl ist auch für die dynamo-elektrischen Maschinen von grösster Wichtigkeit und es sind hierfür besondere Apparate construirt worden. Sehr allgemeiner Verbreitung erfreut sich das Tachometer

Fig. 42.

Tachometer von Buss, Sombart & Co.

von *Buss*, *Sombart & Co.* in Magdeburg, welches gestattet, in jedem Augenblicke die Tourenzahl durch die Stellung eines Zeigers auf einem Zifferblatt abzulesen. Diese Stellung wird regulirt durch ein federndes Centrifugalpendel, welches in einer eisernen Büchse eingeschlossen ist und direct oder

Digitized by Google

durch eine Riemenscheibe mit der rotirenden Achse verbunden wird. Andere Formen von Tourenzählern sind zu bekannt, um hier beschrieben zu werden.

18. Das Ohm'sche Gesetz und die elektrischen Maass-Einheiten. Die elektrische Energie wird bestimmt durch zwei Grössen. Die Energie eines Wasserfalles z. B. hängt nicht nur ab von der Menge des herunterfallenden Wassers, sondern auch von der Fallhöhe desselben. Ebenso ist eine blosse Angabe der von einer Maschine gelieferten Elektricitätsmenge zur Kenntniss ihrer Leistungsfähigkeit nicht hinreichend, es muss auch angegeben werden, welche Spannung sie besitzt (welche Höhe der Potentialdifferenz sie durchfliesst). Um die elektrische Energie zu kennen, müssen wir desshalb zwei Grössen messen, erstens die Elektricitätsmenge, welche während einer gewissen Zeit durch den Draht fliesst, d. h. die Intensität des elektrischen Stromes oder die Stromstärke; zweitens die Potentialdifferenz, welche die Elektricität zwischen den beiden Enden des Drahtes durchströmt oder ihre Spannung. Es ist für die Messung bequem, noch eine dritte Grösse einzuführen, den elektrischen Leitungs-Widerstand. Diese drei Grössen sind durch die *Ohm*'sche Gleichung mit einander verbunden, welche bekanntlich folgende Form hat:

$$E = i \times w^{1})$$

$$\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}.$$

Während früher in den verschiedenen Ländern diese drei Grössen durch ganz verschiedene Einheiten gemessen wurden, hat der elektrische Congress zu Paris im Jahre 1881 ein Maasssystem festgesetzt, welches seither überall adoptirt wurde und welches im Folgenden ausschliesslich berücksichtigt werden soll. Nach den Beschlüssen

1) E bedeutet die elektromotorische Kraft oder die sog. Spannung, i die Stromstärke und w die Widerstände.

Digitized by Google

dieses Congresses wird die Einheit des elektrischen Widerstandes *Ohm* genannt und dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt und 1047,5 mm Länge oder durch denjenigen eines Kupferdrahtes von 1 mm Durchmesser und 48 m Länge. Die Einheit der elektrischen Spannung wird *Volt* genannt und ist 0,9 der Spannung an den Polen eines Daniell'schen Elementes. Die Einheit der Stromstärke heisst *Ampère*. Ein elektrischer Strom besitzt die Intensität von 1 *Ampère*, wenn er mit der Spannung von 1 *Volt* eine Leitung durchläuft, die einen Widerstand von 1 *Ohm* hat. Die theoretische Begründung für die Wahl dieser Einheiten findet sich auseinandergesetzt in des Verfassers Handbuch „Der Elektromagnetische Telegraph". Das absolute Maasssystem p. 182 ff.; ferner ausführlich in den Verhandlungen des elektrischen Congresses in Paris[1]).

Nach den Experimenten von *Joule* und den theoretischen Untersuchungen von *Helmholtz* gilt folgende fundamentale Beziehung zwischen den elektrischen Maasseinheiten: Es ist elektrische Energie = Spannung × Stromstärke.

Misst man die mechanische Energie A in Pferdestärken, so hat man folgende, sehr bequeme Relation für die Aequivalenz zwischen mechanischer und elektrischer Energie:

$$A \text{ (Pferdestärken)} = \frac{Volt \times Ampère}{735{,}7}$$

Früher wurde in Deutschland allgemein als Widerstandseinheit die Siemens'sche Quecksilbereinheit benutzt, als Einheit der Spannung diejenige des Daniell'schen Elementes; die Einheit der Stromstärke wurde Weber genannt. Es bestehen folgende Relationen zwischen den alten und neuen Einheiten:

1) Congrès international des électriciens. Paris 1881. Comptes rendus des travaux p. 221 etc.

Digitized by Google

1 *Ohm* = 1,0486 *Siemens*,
1 *Volt* = 0,927 *Daniell*,
1 *Ampère* = 0,885 *Weber*,

und umgekehrt

1 *Siemens* = 0,9537 *Ohm*,
1 *Daniell* = 1,079 *Volt*,
1 *Weber* = 1,13 *Ampère*.

Auch die Pferdestärke, die Einheit für die mechanische Energie, ist heute noch in den verschiedenen Ländern nicht übereinstimmend. Die wichtigeren derselben mit dem Reductionsfactor für die Verwandlung in elektrische Energie nach der Formel:

$$\text{Pferdestärken} = \frac{\textit{Volt} \times \textit{Ampère}}{C}$$

(für die Beschleunigung der Schwere g = 9,819 m) finden sich in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Deutsches Reich und Frankreich. 1 P S = 75 Secmkg.	Baden. = 500 Secfusspf.	Preussen. = 480 Secfusspf.	England. = 550 Secfusspf.	Oesterreich. = 430 Secfusspf.
1	1	1,0043	1,0139	1,0149
C = 735,7	735,7	738,9	745,9	746,7

In des Verfassers Handbuch „Der Elektromagnetische Telegraph“ sind verschiedene Methoden und Apparate beschrieben, um die elektrischen Grössen: Widerstand, Spannung, Stromstärke, zu messen, worauf hierorts verwiesen wird. Wir beschäftigen uns hier nur mit denjenigen Apparaten, welche zum speciellen Gebrauche mit dynamoelektrischen Maschinen construirt worden sind. Man muss hierbei folgenden Umstand berücksichtigen: Die gewöhnlichen elektrischen Messapparate, die sog. Galvanometer, beruhen fast ausschliesslich auf der Ablenkung der Magnetnadel

Digitized by Google

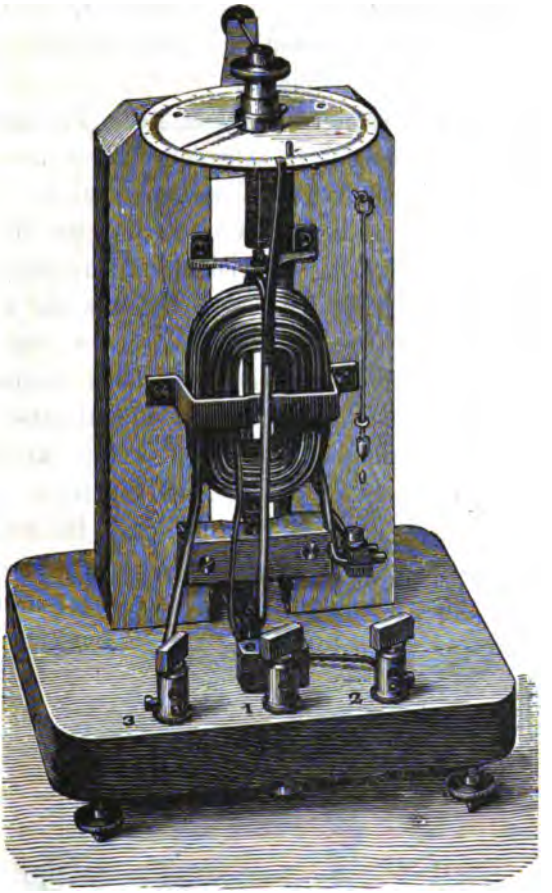
durch den galvanischen Strom. Dieses Princip ist aber bei Messungen an dynamo-elektrischen Maschinen mit grosser Vorsicht zu verwenden; die dynamo-elektrische Maschine nämlich repräsentirt selber einen Magnet von sehr erheblicher Stärke, welcher die Stellung der Galvanometernadel in hohem Grade beeinflusst. Zur Beseitigung dieses Einflusses sind umständliche Correcturen erforderlich, die man möglichst zu umgehen sucht. Man hat desshalb Apparate construirt, deren Angaben von äusseren elektrischen und magnetischen Kräften unabhängig und nur bestimmt sind durch die Intensität der elektrischen Ströme, welche durch den Apparat selbst fliessen. Dies erreicht man auf zweierlei Weise dadurch, dass man Apparate construirt, welche entweder gar kein magnetisirbares Eisen oder von vornherein schon so intensive Magnete enthalten, dass zufällig neu hinzutretende äussere, auch sehr grosse magnetische Kräfte keinen Einfluss mehr auszuüben vermögen.

19. Elektrodynamometer von Siemens & Halske. Nach ersterm Princip ist das Elektrodynamometer von *Siemens & Halske* zur Messung starker elektrischer Ströme gebaut. Dasselbe ist in Fig. 43 abgebildet und besteht im Wesentlichen aus zwei von dem zu messenden Strome durchflossenen und senkrecht aufeinandergestellten Rollen, von denen die innere fest und die äussere beweglich ist. Die letztere besteht nur aus einer einzigen Windung, ihre Enden tauchen in Quecksilbernäpfe, durch welche ihr der Strom zugeführt wird. Sie selbst ist an einen dünnen Faden aufgehängt, ausserdem ist an ihr noch das eine Ende einer Torsionsfeder befestigt; das andere Ende derselben führt zu dem oben auf dem Instrument befindlichen Torsionskopf. An der beweglichen Rolle ist ein Index angeschraubt, welcher auf der über dem Instrument befindlichen Scala einspielt. In der Ruhelage zeigt der Index der Rolle und ein am Torsionskopf befestigter Zeiger gleich-

Digitized by Google

zeitig auf Null der Theilung. Durchfliesst aber ein Strom die beiden Spulen, so wird die bewegliche Rolle durch die

Fig. 43.



Elektrodynamometer von Siemens & Halske.

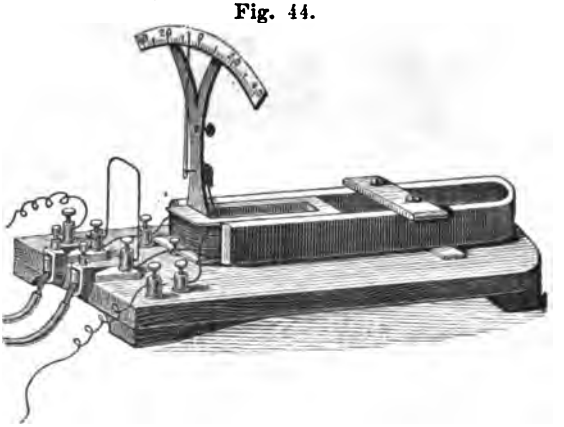
Wechselwirkung beider aufeinander abgelenkt. Die elektrische Kraft sucht beide parallel zu stellen; dem wirkt die Torsion der Feder entgegen. Der Torsionskopf wird nun so lange gedreht und die Torsionskraft dadurch vergrössert, bis der Index der beweglichen Rolle wieder auf Null ein-

Digitized by Google

spielt. Da der Torsionswinkel A proportional der drehenden Kraft und diese proportional dem Quadrate der Stromstärke I ist, nämlich proportional dem Producte der einzelnen, die beiden Rollen durchfliessenden Stromstärken, so ist diese $I = C\sqrt{A}$, d. h. proportional der Quadratwurzel aus dem abgelesenen Verdrehungswinkel.

20. Die Galvanometer (Ampèremeter, Voltmeter) von Deprez und Ayrton & Perry. Auf dem andern Princip, die Unabhängigkeit von äusseren magnetischen Kräften dadurch zu erreichen, dass zur Construction des Apparates selbst mächtige Magnete verwendet werden, beruhen die Galvanometer von *Marcel Deprez* und *Ayrton & Perry*. Das Galvanometer des erstern ist in den Figuren 44 und 45 abgebildet. Es besteht aus einem starken Hufeisenmagnet, zwischen dessen Polen die Drahtwindungen angebracht sind. Innerhalb derselben, s. Fig. 45, liegt ein dünnes rechteckiges Stück weichen Eisens, 10cm lang und 3cm breit, welches durch zehn Einschnitte die Form eines doppelten Kammes erhält. *Deprez* glaubt mit dieser Form eine bessere Polarisation des Eisenstückes durch den umliegenden Magnet zu erhalten. Dieses Eisenstück, welches

Fig. 44.

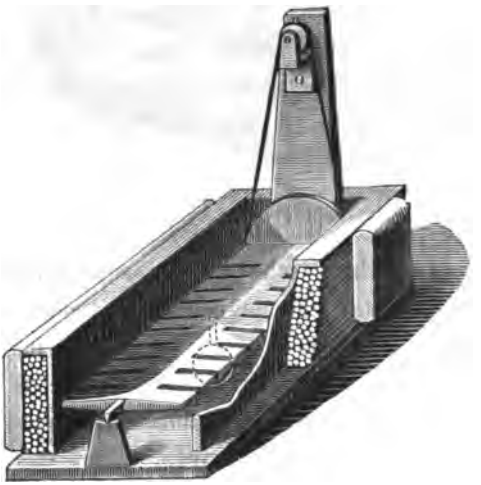


Galvanometer von Deprez. (Ansicht.)

Digitized by Google

die Magnetnadel des Galvanometers repräsentirt, oscillirt um eine horizontale Achse, welche aus zwei auf kleinen Lagern aufruhenden Stahl-Schneiden gebildet wird. Zuweilen trägt die Nadel in ihrer Mitte ein kleines Gegengewicht, welches die horizontale Lage herbeiführt, wenn der ablenkende Strom aufhört zu wirken. Mit einem Ende der Nadel ist ein Rad fest verbunden; und dieses ist mit einem andern kleinern Rade, dessen Durchmesser $^1/_5$ des erstern, durch einen unausdehnbaren Faden gekuppelt. Das letztere Rad trägt einen langen Aluminiumzeiger, der über eine Scala gleitet. Die Drehbewegung dieses Zeigers ist in Folge der Uebersetzung fünfmal grösser als diejenige des

Fig. 45.



Galvanometer von Deprez. (Der drehbare Magnet.)

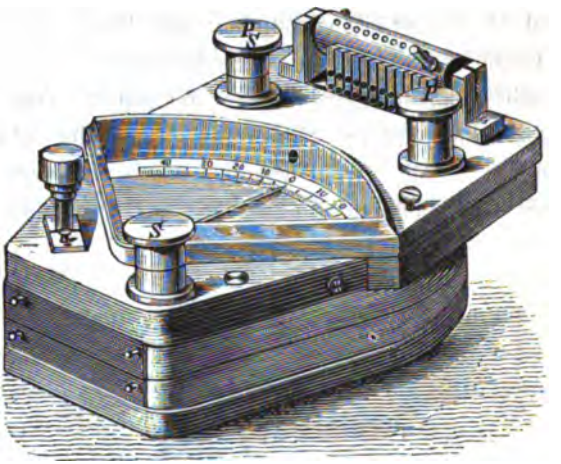
Magnets; doch ist diese Construction, was Genauigkeit der Ablesungen anbelangt, nicht über allen Zweifel erhaben. Ein Vortheil derselben ist die fast momentane Einstellung des Zeigers. Die Drahtwindungen des Instrumentes bilden zwei ganz getrennte Stromkreise, von welchen der eine nur vier Windungen ganz dicken Drahtes, der andere da-

Digitized by Google

gegen sehr viele Windungen von dünnem Drahte enthält; der erste Kreis dient zur Messung starker, der andere zur Messung schwacher Ströme.

Ein noch handlicheres Instrument ist das von *Ayrton & Perry* construirte Galvanometer, das in Fig. 46 abge-

Fig. 46.



Galvanometer von Ayrton & Perry.

bildet ist. Auch hier schwingt die sehr leichte Nadel in einem möglichst starken magnetischen Felde. Die Nadel ist ausbalancirt, so dass das Instrument in jeder Lage richtig zeigt. Die Ablenkung der Nadel ist direct proportional der Stromstärke, was durch geeignete Anordnung der Drahtwindungen erreicht wird.

Die Haupteigenthümlichkeit dieses Apparates besteht in Folgendem: Der dicke Draht, welcher um die Nadel gewickelt ist und durch welchen der zu messende elektrische Strom fliesst, ist aus zehn von einander isolirten Leitungen zusammengesetzt. Jede dieser Leitungen hat denselben elektrischen Widerstand, so dass durch jeden ein gleicher Theil des Stromes fliesst. Um eine Ablenkung von 5° hervorzubringen, ist eine Stromstärke von 10 *Ampère* nöthig.

Digitized by Google

Aber mit einem Commutator können die zehn Leitungen, welche bisher neben einander geschaltet waren, durch eine einfache Drehung hinter einander verbunden werden. Dadurch wird die Empfindlichkeit zehnmal grösser und schon ein Strom vom 1 *Ampère* lenkt die Nadel um fünf Grad ab. Die Theilung geht bis auf 45°, so dass mit dem Instrument Stromstärken bis zu 90 *Ampère* gemessen werden können. Jedem Instrument ist der Widerstand 1 *Ohm* beigegeben, welcher ermöglicht, jeden Augenblick die Angaben des Magnets zu controliren. Bei den Messungen ist derselbe durch einen Stöpsel ausgeschaltet.

Die bisher betrachteten Instrumente dienen zur Messung der Stromstärke, zu welchem Zwecke sie direct in die Hauptleitung eingeschaltet werden. Hierzu enthalten sie wenig Windungen von dickem Kupferdrahte. Die Theilung ihrer Scalen ist bei den neueren Apparaten gewöhnlich so eingerichtet, dass die Ablesung direct die Anzahl *Ampère* angibt. Um mit denselben Apparaten auch die Spannung *Volt* messen zu können, muss man an ihnen eine kleine Modification anbringen. Nach dem *Ohm*'schen Gesetze $E = i \times w$ verfährt man dabei so: Man sorgt dafür, dass der Widerstand w immer als constant angesehen werden kann, dann ist die Spannung E proportional der mit den früheren Apparaten zu messenden Stromstärke i. Solche zur Messung der Spannung benutzte sogenannte *Voltmeter* haben viele Windungen von dünnem Drahte und grossem elektrischen Widerstand (1,00 bis 10,00 *Ohm*). Diese Instrumente werden nicht direct in die Hauptleitung eingeschaltet, sondern ihre Polklemmen durch eine Zweigleitung direct mit den beiden Puncten verbunden, deren Spannungs-(Potential)-Differenz man messen will. Da der Widerstand der Hauptleitung gegenüber demjenigen der Nebenleitung, welche den Messapparat enthält, verschwindend klein ist, bleibt die Ablenkung des Instrumentes proportional der Spannungsdifferenz und

Digitized by Google

die Theilung ist so eingerichtet, dass die Ablesung direct die Anzahl der *Volt* angibt. Diese Messmethode ist jedoch nicht ganz genau, weil sie voraussetzt, dass der Widerstand zwischen den beiden Puncten in der Hauptleitung, deren Spannungsdifferenz man misst, gegenüber demjenigen im Galvanometer verschwindet. Man muss daher stets bei jeder Messung sich vergewissern, ob diese Annahme mit genügender Genauigkeit erfüllt ist.

21. Das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske. Für exacte Messungen von Spannungsdifferenzen wird in neuerer Zeit fast ausschliesslich das Torsionsgalvanometer von *Siemens & Halske* gebraucht, welches in Fig. 47 abgebildet ist. Das Instrument enthält einen sogenannten Glockenmagnet, welcher an einem Coconfaden und einer feinen Spiralfeder aufgehängt ist. Mit der Drehachse des Magnets ist ein in der Figur seitlich rechts sichtbarer Zeiger verbunden, der unter der Theilung schwingt, welche auf dem das Instrument oben verschliessenden Glasdeckel eingravirt ist. Zu beiden Seiten des Glockenmagnets sind zwei Drahtrollen aufgestellt mit je etwa 50 *Ohm* Widerstand. Der wie beim vorhin beschriebenen Elektrodynamometer zu messende Torsionswinkel ist proportional der Spannung. Unter dem Instrumente an der Grundplatte befindet sich ein Widerstand von circa 900 Ohm, der durch Hineinstecken des Stöpsels kurz geschlossen wird. Ohne künstlichen Widerstand können mit dem Instrumente Spannungen gemessen werden von 0,01 bis 1 Volt. Durch Ausziehen des Stöpsels wird der Widerstand von 900 Ohm in die Leitung eingeschaltet und dadurch die Empfindlichkeit des Instrumentes zehnmal kleiner, es lassen sich dann Spannungen bis auf 10 Volt messen. Für noch höhere Spannungen muss die Empfindlichkeit durch Einschaltung weiterer Widerstände noch kleiner gemacht werden. Um Spannungen bis zu 100 Volt messen zu können, muss ein

Digitized by Google

Widerstand von 9000 *Ohm* in die Leitung eingeschaltet werden u. s. w.

Fig. 47

Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske.

22. Der Registrirapparat von Edison. Zu den elektrischen Messapparaten gehört auch der von *Edison* construirte Registrirapparat, welcher bei seinen Beleuchtungsanlagen ausgedehnte Verwendung findet. Derselbe misst die während einer beliebig langen Zeit durch die Leitung geflossene

Digitized by Google

Elektricitätsmenge, und beruht auf dem *Faraday*'schen Gesetze der Elektrolyse, welches folgendermaassen lautet: Wenn ein elektrischer Strom von bestimmter Stärke eine die Elektricität leitende Salzlösung durchfliesst, so wird dieselbe zersetzt und die am negativen Pole der Zersetzungszelle niedergeschlagene Metallmenge ist proportional der Stromstärke einerseits, und anderseits proportional dem Atomgewicht des niedergeschlagenen Metalles. Als Salzlösung benutzte *Edison* früher Kupfervitriol, in letzter Zeit Zinkvitriol. Fig. 48 stellt einen solchen Registrirapparat dar.

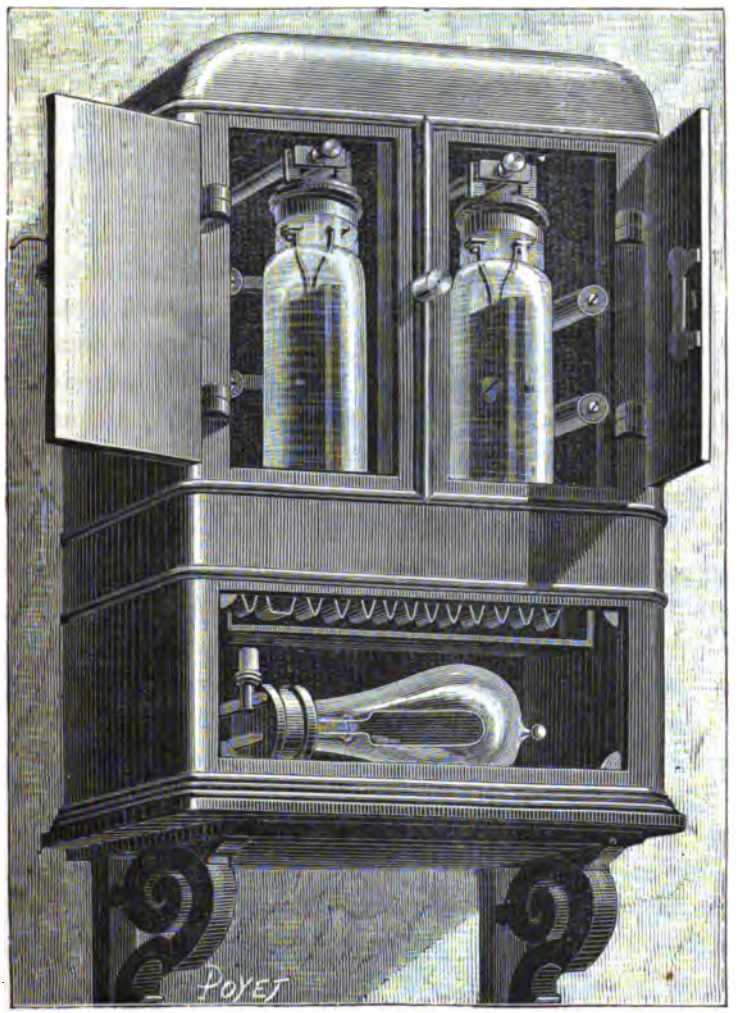
Derselbe besteht aus zwei Zersetzungszellen mit verschiedenem Widerstande; die Elektroden derselben bestehen aus Zinkplatten, welche leicht ausgewechselt werden können. Ein solcher Apparat nun wird in eine Nebenleitung gestellt, deren Widerstand so abgepasst ist, dass sie von $^1/_{100}$ des ganzen Stromes durchflossen wird. Sobald ein Strom in der Leitung circulirt, werden durch denselben die Zinkplatten in der Zersetzungszelle verändert und zwar wird die positive Polplatte immer leichter und die negative Polplatte immer schwerer. Man wechselt nun von Zeit zu Zeit diese Polplatten aus und wiegt sie genau. Die Grösse der Zu- oder Abnahme gibt genaue Auskunft über das Quantum der Elektricität, welches während der Zeit durch die Leitung geflossen ist. Wir werden die Einrichtung dieses Instrumentes noch genauer betrachten bei dem Beleuchtungssystem von *Edison*.

23. Das elektrische Dynamometer. Dieses von *Ayrton & Perry* construirte Instrument (Fig. 49 und 50 s. S. 80) besteht wie das im §. 19 beschriebene Dynamometer aus zwei Spulen, einer festen *B* und einer beweglichen *C*, doch ist die Verbindung derselben eine andere als bei jenem. Die feste Spule enthält wenige Windungen eines dicken Drahtes, während die bewegliche Spule aus einer grösseren Anzahl dünndrähtiger Windungen

Digitized by Google

gebildet ist. Während nun die feste Spule in dem Hauptstromkreis, z. B. einer elektrischen Lampe eingeschaltet

Fig. 48.



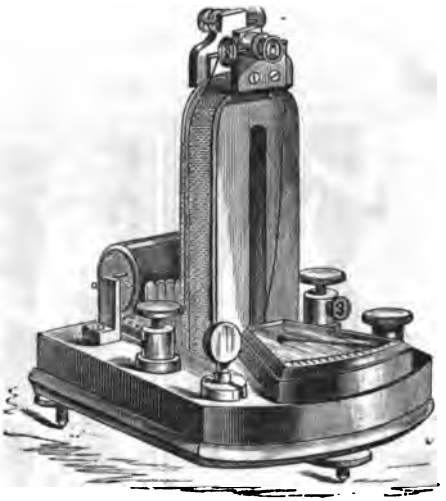
Registrirapparat von Edison.

ist, steht die dünndrähtige bewegliche Spule durch eine Nebenleitung mit den Polklemmen der Lampe in Verbin-

Digitized by Google

dung. Die Kraft, mit welcher die letztere Spule aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, ist wieder proportional dem Pro-

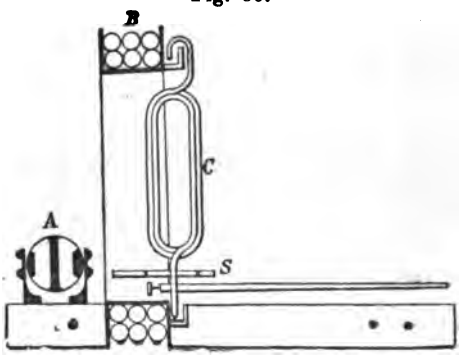
Fig. 49.



Elektrisches Dynamometer von Ayrton & Perry. (Ansicht.)

ducte der in beiden Spulen circulirenden Stromstärken. In Anbetracht des 100 *Ohm* starken Widerstandes der

Fig. 50.



Elektrisches Dynamometer von Ayrton & Perry. (Schematisch.)

dünndrähtigen Spule ist nach §. 12 der in derselben circulirende Strom proportional der Potentialdifferenz *E*

Digitized by Google

der Polklemmen, während die dickdrähtige Spule von der ganzen Stromstärke J durchflossen wird. Die Ablenkung der beweglichen Spule ist daher proportional dem Producte E mal J. Durch dieses Product wird aber nach §. 18 die elektrische Energie gemessen und es kann daraus auf die von der Lampe verbrauchte mechanische Arbeit geschlossen werden. An der beweglichen Rolle ist ein Zeiger angebracht, welcher über eine Theilung schwingt. Diese ist ausgeführt nach der Gleichung $A = \frac{E\,(Volt) \times J\,(Ampère)}{736}$ d. h. Pferdestärken. Um das Instrument verschiedenen Verhältnissen anpassen zu können, ist dasselbe mit gleichen Vorrichtungen versehen, wie das von denselben Erfindern construirte Galvanometer. Der dicke Draht ist ebenfalls durch ein zehndrähtiges Kabel gebildet und diese zehn Leitungen können durch Drehung eines Commutatorhebels hintereinander oder parallel geschaltet werden, um eine passende Empfindlichkeit des Instruments zu erzeugen.

24. Die Lichtmessungen. Nachdem wir gesehen haben, wie elektrische und mechanische Energie bestimmt werden kann, bleibt uns noch übrig die Bestimmung des Quantums Licht, das von einer Lampe ausgestrahlt wird. Die Lichtmessungen sind viel schwieriger auszuführen, und der elektrische Congress in Paris war noch nicht im Stande, ein allgemein anerkanntes Verfahren dafür aufzustellen. Bei allen Lichtquellen ist zu unterscheiden zwischen der Stärke oder der Quantität des ausgestrahlten Lichtes und der Qualität oder dem Glanze desselben. Alle Lichtmessungen beruhen bis jetzt nur auf der Vergleichung zweier Lichtstärken oder der Quantität des ausgestrahlten Lichtes. Man sagt, dass zwei verschiedene Lichtquellen, z. B. eine Gas- und eine Petroleum-Lampe, gleiche Lichtstärke haben oder gleich viel Licht aussenden, wenn sie eine und dieselbe Fläche in gleichen Abständen gleich stark beleuchten. Da nun die Helligkeit

Digitized by Google

einer von einem lichtaussendenden Puncte beleuchteten Fläche mit dem Quadrate der Entfernung von diesem Puncte abnimmt, so muss die Lichtmenge, welche derselbe ausstrahlt, 4, 9, 16....mal so gross sein, wenn die erleuchtete Fläche in der 2, 3, 4....fachen Entfernung dieselbe Helligkeit erhalten soll, welche sie in der Entfernung 1 von dem Puncte bekommt. Allgemein kann man daher sagen, dass die Lichtstärken oder die Lichtmengen zweier verschiedener Lichtquellen, welche einer und derselben Fläche gleiche Helligkeit geben, sich verhalten wie die Quadrate ihrer Abstände von dieser Fläche. Es beruhen hierauf die verschiedenen Einrichtungen, um zwei Lichtquellen mit einander zu vergleichen, die sogenannten Photometer.

Ueber das Maass oder die Einheit der Lichtmenge, welche bei diesen Vergleichungen (dem Messen des Lichtes oder dem Photometriren) zu Grunde zu legen ist, sind, wie schon erwähnt, die Techniker heute noch immer nicht einig. In Frankreich dient als Einheit der Lichtstärke das Licht einer Carcel-(Moderateur-)Lampe grössten Formats von 30mm Dochtweite, welche in einer Stunde 42g gereinigten Colzaöls (Kohlsaat- oder Rüböls) verbrennt, man nennt diese Lichtmenge einfach Bec Carcel. Auch gebraucht man das Licht einer Gasflamme, welche 140*l* Gas in der Stunde verzehrt, als Maass-Einheit. Diese steht zu der vorigen in dem Verhältnisse, dass 1 Bec de gaz = 1,1 Bec Carcel ist.

In England wendet man als Licht-Einheit die sogenannte Parlamentskerze *(London Standard Spermaceti Candle)* an, die bei einer Flammenhöhe von 45mm stündlich 120 Grains (7,77g) Spermaceti (Walrath) verbrennt.

In Deutschland hat der Verein der deutschen Gas- und Wasserfachmänner als Einheit der Lichtstärke eine Paraffinkerze von 20mm Durchmesser und von genau vorgeschriebener Zusammensetzung des Dochtes empfohlen; der Docht ist aus 24 baumwollenen Fäden geflochten und

Digitized by Google

wiegt in trockenem Zustande 0,668g per Meter Länge. Sechs solche Kerzen wiegen 500g und sie sollen eine Flammenhöhe von 50mm geben. Da jedoch bei uns die meisten Städte in ihren mit den Gasgesellschaften abgeschlossenen Verträgen bereits andere Bestimmungen für das Photometriren getroffen haben, so wird die letztere Vorschrift selten befolgt, wozu auch noch der Umstand kommt, dass diese Normal-Paraffinkerzen nur auf besondere Bestellung angefertigt werden und bei 50mm Flammenhöhe sehr ungleichmässig brennen.

Die Flamme der Münchener Stearinkerze verzehrt normal 10,2 bis 10,6g Stearin pro Stunde; die Kerze soll aus einem Stearin von 76 bis 76,6% Kohlenstoff angefertigt sein. Als normale Höhe ergab sich im Durchschnitt für 10,4g Materialconsum pro Stunde 52mm.

Vergleichende Messungen haben folgende Verhältnisszahlen ergeben:

Bec Carcel.	Standard Sp. Candle.	Deutsche Vereinskerze.	Münchener Kerze.
1	7,435	7,607	6,743
0,134	1	1,023	0,907
0,132	0,977	1	0,887
0,148	1,102	1,128	1

Wenn diese Angaben von anderen weniger verbürgten abweichen, so mag dieses hauptsächlich seinen Grund darin haben, dass die verschiedenen Maass-Einheiten in sich selbst nicht vollständig constant sind. „Eine Kerze" — sagt *Louis Schwendler* in einer hübschen Abhandlung über eine neue Maass-Einheit für Lichtmessungen[1]) —, „aus welchem Material sie bestehen und welches auch ihre Grösse sein mag, wird

1) E. Z. 1880, p. 144. Z. f. a. E. 1880, p. 15. Untersuchungen über das Platin-Normallicht.

Digitized by Google

immer von der Beschaffenheit eines zusammengesetzten Körpers abhängig sein, dessen genaue Reproduction stets mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist. Genau die gleichen Uebelstände machen sich auch beim Carcel-Brenner geltend. Ferner hängt die Lichtmenge, welche diese Maass-Einheiten erzeugen, in sehr hohem Grade von äusseren Einflüssen ab, die nicht so leicht eine Controle oder Messung zulassen und die deshalb Veränderungen in dem Lichte der Maass-Einheit bewirken, für welche eine Correction nicht eingeführt werden kann. Z. B. hängt das Maass und die Regelmässigkeit, womit eine Kerze verbrennt, und die Lichtmenge, die sie aussendet, ausser von dem Material, aus welchem die Kerze besteht, von dem raschen und regelmässigen Zutritt von Sauerstoff ab. Ist in einem geschlossenen Raume, wie dem Gehäuse eines Photometers, der Luftzug nicht gut regulirt und der Zufluss von frischer Luft nicht ganz constant, so kann leicht beobachtet werden, dass dieselbe Kerze zu verschiedenen Zeiten Lichtmengen aussendet, die um 50° von einander verschieden sind. Eine andere Schwierigkeit wird erzeugt durch die Veränderung der Länge des Dochtes und der Kerze selbst, wodurch das Licht der Maass-Einheit im Photometer nothwendig seine Lage und folglich auch seine quantitative Einwirkung auf einen gegebenen Punct verändert."

Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, ersann *Schwendler* eine neue Maass-Einheit, die er darstellte durch die Wärmewirkung eines constanten Stromes, der Platin von gegebener Masse und bestimmten Dimensionen durchfliesst. Da uns eine Anwendung dieser Einheit für technische Zwecke nicht bekannt geworden ist, so verzichten wir hier auf die detaillirte Beschreibung derselben und der Methode ihres Gebrauches. Es ist sehr zu bedauern, dass es noch nicht gelungen ist, eine allgemein anerkannte und überall leicht herstellbare Licht-Einheit aufzufinden. An dem Mangel einer solchen

Digitized by Google

Licht-Einheit liegen vielfach die Missverständnisse zwischen den Gas- und Elektro-Technikern und die falschen Resultate, welche man aus Lichtmessungen so häufig zieht.

Die Vergleichung ungefähr gleich intensiver Lichter geschieht gewöhnlich mit dem Photometer von *Bunsen* (s. Fig. 51). Es besteht aus einem Blatt weissen Papieres, welches in der Mitte einen runden Fettflecken *m* von Stearin oder

Fig. 51.

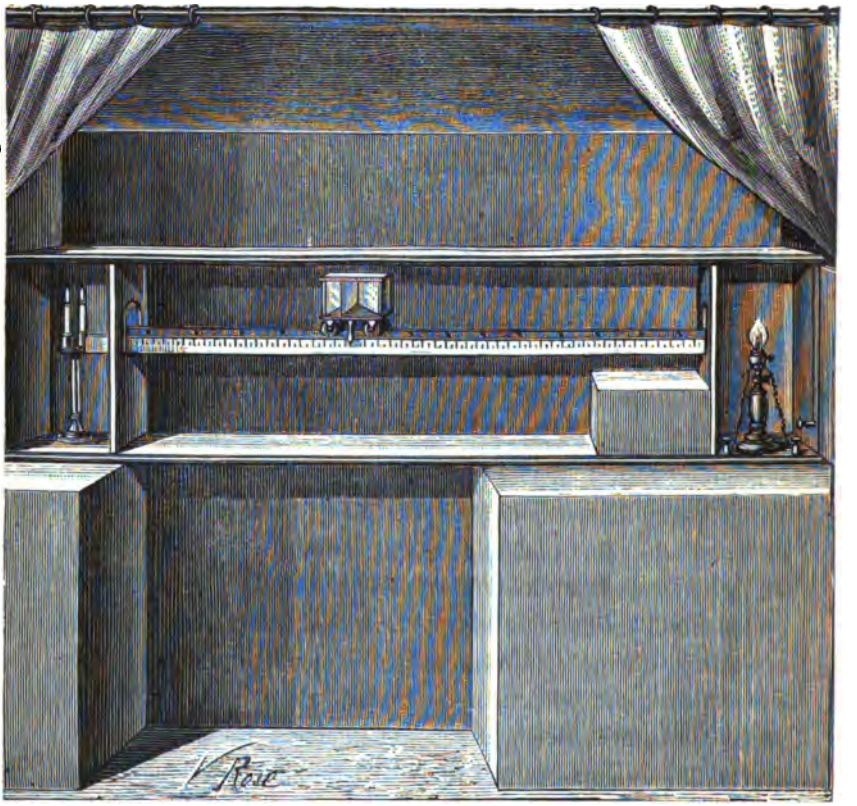
Photometer von Bunsen.

Wachs hat. Dieses Blatt Papier wird zwischen die zu vergleichenden zwei Lichter gestellt und der Flecken bleibt wegen seiner Durchsichtigkeit sichtbar, so lange die beiden Seiten des Papiers nicht gleich stark beleuchtet sind; er verschwindet aber dem Auge in dem Momente, wo man durch Veränderung der Distanzen der beiden Lichter vom Blatte eine gleich intensive Beleuchtung von beiden Richtungen her erreicht hat. Zwei Spiegel $M\,N$, $M^1\,N^1$ sind zu beiden Seiten des Papiers so aufgestellt, dass ihr spitzer Winkel vom Blatte $A\,B$ halbirt wird. Dadurch wird erreicht, dass ein Beobachter den Flecken von beiden Seiten zu gleicher Zeit sehen kann. Es verhalten sich nun die Lichtintensitäten wie die Quadrate der Entfernungen der Lichter vom Blatte $A\,B$, sobald jene so gestellt sind, dass beide Seiten des Blattes gleiche Helligkeiten erhalten haben, was man daran erkennt, dass der Fettflecken unsichtbar wird.

Digitized by Google

Die Form, wie *Edison* dieses Photometer praktisch ausgeführt hat, zeigt Fig. 52. Das Photometer ist auf einen kleinen Rollwagen gestellt, der auf einer eisernen, mit feiner

Fig. 52.



Photometer von Edison.

Theilung versehenen Schiene beweglich ist. Der Rollwagen trägt einen Index, der über die Theilung der Schiene hingleitet und seine Stellung zwischen den Lichtern scharf bestimmt. An den beiden Enden der Schiene sind die Lichtquellen aufgestellt, auf der einen Seite die zu messende elektrische Lampe, auf der anderen Seite die gewählte

Digitized by Google

Lichteinheit, eine genau regulirte Gasflamme oder eine oder (wie in der Figur) zwei Normalkerzen. Die ganze Vorrichtung wird in einen schwarz angestrichenen Kasten eingeschlossen, oder in einem dunkeln Zimmer aufgestellt. Die Theilung auf dem Maassstabe ist so eingerichtet, dass die Ablesung der Stellung des Index am Rollwagen, wenn dieser so aufgestellt ist, dass der Fettfleck verschwindet, direct das Verhältniss der Intensität der geprüften Lichtquelle zum verwendeten Normallicht angibt.

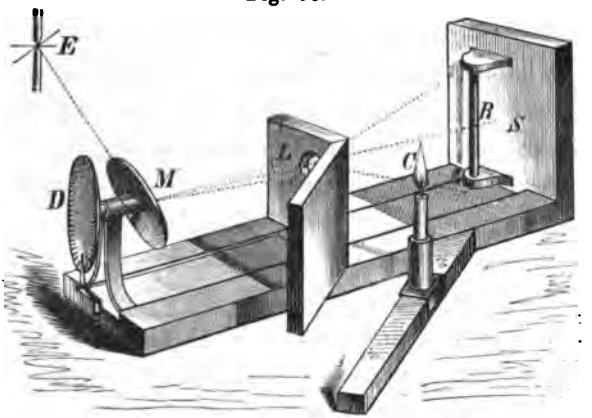
Wollte man nach dieser Methode die elektrischen Bogenlichter mit Kerzen oder Gaslampen vergleichen, so müsste man, um den Fettflecken zum Verschwinden zu bringen, wegen der ungeheuren Intensität der ersteren zu Entfernungen von 20 bis 30m greifen, so dass es in den wenigsten Fällen möglich wäre, einen für diese Messungen passend grossen Raum herzustellen.

Ayrton und *Perry* haben desshalb ein sogenanntes Zerstreuungsphotometer gebaut, welches auf dem Princip des Photometers von *Rumford* beruht. Dieses Princip besteht darin, dass die zu vergleichenden beiden Lichtquellen so lange verschoben werden, bis sie von einem dünnen Stabe auf einer und derselben weissen Wand Schatten von gleicher Dunkelheit werfen. Die Lichtintensitäten verhalten sich dann ebenfalls wie die Quadrate der Abstände der betreffenden Lichter vom schattenwerfenden Stabe. Bei dem Zerstreuungsphotometer fallen die Lichtstrahlen der elektrischen Lampe *E* nicht direct auf den Lichtschirm *S* (Fig. 53), sondern passiren vorher eine Concavlinse *L*, welche dieselben über einen viel grössern Raum auseinander streut, so dass sie einen viel schwächern Schatten des Stabes *R* auf dem Lichtschirme hervorbringen. Dieser Schatten wird verglichen mit demjenigen, welcher von der Normalflamme *C* auf dem Lichtschirme entworfen wird, und diese letztere so lange verschoben, bis die beiden Schatten genau an

Digitized by Google

Dunkelheit übereinstimmen. Aus einfachen optischen Gesetzen leitet man dann her, dass die zu messende Intensität des Lichtes E proportional ist der Grösse $\frac{M\ L^2 \times L\ S^2}{C\ S^2}$.

Fig. 53.



Zerstreuungsphotometer von Ayrton und Perry.

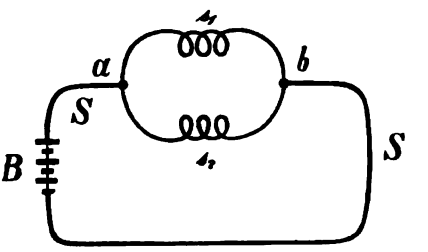
Da es bei Messungen an elektrischen Lampen äusserst wichtig ist, die Intensität des Lichtes in verschiedenen Richtungen messen zu können, so richtet man die Lichtstrahlen nicht direct auf die Linse L, sondern sie werden durch den geneigten Spiegel M dorthin reflectirt; dieser ist um eine horizontale Achse drehbar und es werden nun je nach seiner Lage Lichtstrahlen von allen möglichen Richtungen auf den Schirm gesandt. Die Richtung kann am Centrumkreise D abgelesen werden.

25. Stromverzweigung. Zum Schlusse dieses Abschnittes wollen wir noch die Stromverzweigung kurz betrachten, da auf ihr die Construction der neuen Lichtregulatoren und Maschinen beruht und sie bei den Messungen eine wichtige Rolle spielt. Wenn, wie in Fig. 54, einem aus irgend einer Stromquelle B kommenden elektrischen Strome S an irgend einer Stelle a der Leitung zwei oder mehrere Wege s_1, s_2 zu seinem weitern Fortgange dargeboten werden, die sich

Digitized by Google

wieder in einem Puncte b vereinigen, so nennt man diese einzelnen Stromwege zwischen a und b Stromverzweigungen oder einfach Zweige. Der Strom S theilt sich im Puncte a in so viele Partialströme s_1, s_2 (Zweigströme), als ihm Zweige dargeboten werden, und nach der Wiedervereinigung aller dieser Zweige (in b) fliesst er in derselben Stärke S, welche er vor seiner Verzweigung besass, durch die Leitung weiter. Theorie und Erfahrung stimmen darin überein, dass die Stromstärke in je zwei Zweigen sich umgekehrt verhalten wie die Widerstände, welche diese Zweige dem Durchgange des Stromes entgegensetzen.

Fig. 54.



Die Stromverzweigung.

Wenn die Widerstände der beiden Zweige einander gleich, also die Drähte der Zweige bei gleichem Querschnitte gleich lang sind, so sind die Zweigströme s_1 und s_2 auch einander gleich und jeder ist die Hälfte des unverzweigten Stromes S. Sind dagegen die Widerstände der beiden Zweige nicht einander gleich, so ist die Stromstärke in demjenigen Zweige am kleinsten, in welchem der Widerstand am grössten ist; immer aber ist die Summe aller Zweigströme gleich dem unverzweigten Strome S.

Bezeichnet man die Widerstände in den beiden Zweigen der Fig. 54 mit w_1 und w_2, die Stromstärken in denselben entsprechend mit s_1 und s_2, so ist

$$s_1 : s_2 = w_2 : w_1 \text{ und}$$
$$s_1 + s_2 = S,$$

woraus ferner folgt, dass

Digitized by Google

$$s_1 = S \cdot \frac{w_2}{w_1 + w_2} \text{ und}$$

$$s_2 = S \cdot \frac{w_1}{w_1 + w_2}.$$

Der gesammte Widerstand beider Zweige ist gleich

$$\frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}.$$

Ist der eine Widerstand, z. B. in s_2, sehr klein im Verhältnisse zu dem andern Widerstande in s_1, besteht z. B. der Draht des Zweigstromes s_2 aus wenigen Spiralwindungen eines dicken Drahtes, dagegen für s_1 aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, so theilt sich der Strom S bei a in zwei ungleiche Theile, von denen der grössere Theil durch die kurze Spirale des dicken Drahtes abfliesst, während die andere Spirale fast stromlos bleibt. Schaltet man in den einen Zweig (s_1) eine elektrische Lampe mit Lichtbogen ein, so setzt dieser bekanntlich dem Durchgange des Stromes einen grossen Widerstand entgegen, dessen Grösse veränderlich und von der Länge des Bogens abhängig ist. Wenn dabei der Widerstand in der anderen Drahtspirale klein ist, so geht wieder der grösste Theil des unverzweigten Stromes S durch die letztere Drahtspirale, während nur ein kleiner Theil des Stromes durch denjenigen Drahtzweig geht, in welchem sich der Lichtbogen befindet. Nimmt letzterer an Länge zu, so wächst auch der Widerstand in diesem Zweige; der durch die Lampe gehende Strom s_1 wird schwächer, während gleichzeitig der andere Zweigstrom s_2 an Stärke zunimmt.

Zu diesem Princip der Theilung des elektrischen Stromes in Partialströme im umgekehrten Verhältniss der Widerstände der einzelnen Leitungen kommt noch das *Ohm*'sche Gesetz in der Form, welche *Kirchhoff*[1]) demselben gegeben hat und das also lautet: Liegt ein beliebiges Leitersystem vor,

1) Schellen, der elektromagnetische Telegraph, 6. Aufl. S. 169.

Digitized by Google

etwa das in Fig. 54 dargestellte, so kann man in demselben mehrere geschlossene Stromleitungen absondern, wie

$$B\,a\,s_1\,b\,B;\ B\,a\,s_2\,b\,B;\ a\,s_1\,b\,s_2\,a.$$

Für jede dieser Strombahnen gilt das *Ohm*'sche Gesetz: Elektromotorische Kraft, d. h. Spannung der stromerzeugenden Batterie ist gleich der Summe der Producte aus Stromstärke und Widerstand der einzelnen Theile, welche den Kreis zusammensetzen, wobei die einzelnen Producte positiv oder negativ zu nehmen sind, je nachdem beim Durchfahren der Strombahn vom positiven zum negativen Batteriepol die Stromrichtung gleich bleibt oder entgegengesetzt wird. Für unsere Figur erhalten wir hierdurch drei Gleichungen, wenn noch B die elektromotorische Kraft der Batterie, W den Widerstand der Hauptleitung $a\ b$ bedeutet:

$$B = S\,W + s_1\,w_1$$
$$B = S\,W + s_2\,w_2$$
$$0 = s_1\,w_1 - s_2\,w_2.$$

Die letzte Gleichung bezieht sich auf den Kreis $a\,s_1\,b\,s_2\,a$, der keine Batterie (elektromotorische Kraft) enthält; die linke Seite dieser Gleichung ist daher Null; und weil beim continuirlichen Umfahren die Stromrichtung wechselt, ist das eine Product negativ.

Mit Hülfe dieser Gleichungen lassen sich alle Probleme der Stromtheilung lösen und man kann für jeden Fall die Stromstärken und Spannungen bestimmen, welche in einem bestimmten Theile der Leitung vorhanden sind, sobald die Widerstände der einzelnen Theile und die in ihnen thätigen elektromotorischen Kräfte bekannt sind.

Digitized by Google

III. Abtheilung.

Die magnet-elektrischen Maschinen.

26. Die magnet-elektrischen Maschinen von Pixii, Saxton und Clarke. Es lag nahe, die in den §§. 1—11 beschriebenen Erscheinungen zur Construction von Maschinen zu verwenden, welche durch Rotation eines Magnets gegen einen Inductor oder des letztern gegen einen feststehenden Magnet in kurzer Zeit eine Menge von Inductionsströmen liefern.

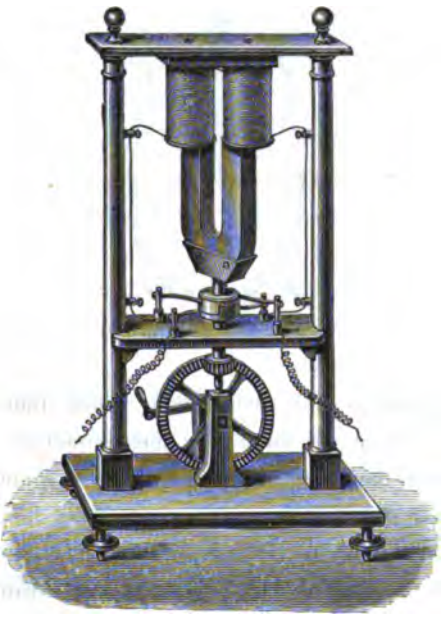
Der Erste, der diese Idee praktisch ausgeführt hat, scheint *Pixii* in Paris gewesen zu sein. Schon im Jahre 1832 construirte er die in Figur 55 abgebildete magnet-elektrische Rotationsmaschine, bei welcher vermittelst eines Zahnrades mit Trieb die verticale Achse eines kräftigen Magnets in eine schnelle Rotation versetzt wurde. Bei dieser Bewegung liefen die Pole des Magnets dicht unter dem Eisenkerne des an der oberen Gestellplatte befestigten Inductors vorbei und erzeugten dadurch (§. 11) in dem Schliessungsdrahte der Drahtrolle eine Reihe von Inductionsströmen, welche durch die an der Seite des Gestells befindlichen Drähte zu zwei Messingklemmen und von hier beliebig weiter geführt wurden.

Für manche Zwecke ist es störend, dass die Ströme abwechselnd bald die eine, bald die entgegengesetzte Richtung haben; es muss daher die Einrichtung getroffen werden, dass bei jeder Drehung des Magnets der eine Strom in seiner Richtung umgekehrt werde, damit sämmtliche Ströme

Digitized by Google

den Schliessungsdraht des Inductors in einer und derselben Richtung durchlaufen. Einrichtungen dieser Art nennt man Stromwender oder Commutatoren; sie sind je nach der Anzahl der bei jeder Rotation entstehenden Ströme verschieden gestaltet.

Fig. 55.



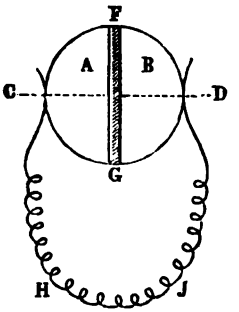
Die magnet-elektrische Maschine von Pixii.

Die einfachste Form eines Commutators entsteht, wenn man es bei jeder Rotation nur mit zwei entgegengesetzten Strömen zu thun hat, wie es bei der Maschine von *Pixii* der Fall ist. Derselbe besteht dann aus zwei einander gegenübergestellten metallischen Halbcylindern *A B*, Fig. 56, welche durch ein isolirendes Zwischenstück *F G* von Elfenbein oder Hartgummi von einander getrennt und auf der Welle des rotirenden Maschinentheiles (Fig. 55) befestigt sind. Auf diesen Halbcylindern schleifen in diametral gegen-

Digitized by Google

überstehenden Puncten die beiden Messingfedern *C*, *D*, die in seitlichen Klemmen befestigt sind und zugleich dazu dienen, die Ströme aus der Maschine durch einen Schliessungsdraht *H J* beliebig weiter zu leiten. Die in dem Inductor der Rotationsmaschine entstehenden Ströme gehen von den Enden

Fig. 56.



Der Commutator.

des Inductordrahtes aus vermittelst zweier anderer Schleiffedern (Fig. 55) je in einen der messingenen Halbcylinder *A* und *B*, und von hier durch die Federn *C* und *D* weiter in den Schliessungsdraht.

Nehmen wir nun an, die Bewegung des Magnets gegen den Inductor sei eine solche, dass in dem Drahte des letztern ein Näherungsstrom entstehe, der in den Commutator bei *A* eintrete, über *C* in der Richtung *H J* durch den Schliessungsdraht nach *D* gehe und über *B* denselben wieder verlasse. Dieser Strom behält seine Richtung so lange, bis durch die Drehung der Halbcylinder das isolirende Zwischenstück *F G* auf die Federn *D* und *C* trifft. Geschieht dieses, so ist für den Augenblick der Strom im Schliessungsdrahte unterbrochen; aber im nächsten Augenblicke kommt der Halbring *A* auf die Feder *D*, *B* auf *C* zu stehen, und es geht nun der bei *A* eintretende Inductorstrom im Schliessungsdrahte in der Richtung von *J* nach *H*, d. h. in

Digitized by Google

der entgegengesetzten Richtung, als vorhin. Die Stellung des Commutators auf der rotirenden Achse ist nun aber eine solche, dass gerade in demselben Momente in dem Inductor ein Entfernungsstrom entsteht, welcher die entgegengesetzte Richtung hat, als der Näherungsstrom. Ein Entfernungsstrom aber in der Richtung *J H* des Schliessungsdrahtes ist gleichbedeutend mit einem Näherungsstrome in der Richtung *H J*, und es haben daher bei fortgesetzter Rotation des Inductors die beiden aufeinander folgenden Inductionsströme, welche im Inductor selbst entgegengesetzte Richtung haben, ausserhalb desselben im Schliessungsdrahte eine und dieselbe Richtung.

Nach der Analogie einer galvanischen Batterie können wir die eine Feder *C* den positiven, die andere *D* den negativen Pol nennen, wenn bei anhaltender Rotation des Inductors und des Commutators der positive Strom stets in der Richtung von *C*, *H*, *J* nach *D* fliesst, was bei der vorstehenden Einrichtung der Fall ist. Je nach der Anzahl der bei einer Umdrehung der rotirenden Welle entstehenden Ströme von entgegengesetzter Richtung erhält der Commutator eine etwas andere Form; aber im Wesentlichen bleibt die Einrichtung dieselbe, wie wir sie eben beschrieben haben, und zwar derart, dass die eine Feder stets ein positiver, die andere ein negativer Pol wird. An der Stelle, wo das isolirende Material *F G* auf die Federn trifft, entsteht der Stromwechsel und damit zugleich eine, wenn auch noch so kurze Unterbrechung des Stromes in der Leitung, bei welcher an der Unterbrechungsstelle ein je nach der Stromstärke mehr oder weniger intensiver elektrischer Funken entsteht. Starken Funken aber widersteht kein Metall; die meisten Metalle werden durch dieselben geschmolzen oder doch oxydirt, und so bildet der Commutator in allen grösseren, nach dem Princip der Maschine von *Pixii* gebauten magnet-elektrischen Rotationsmaschinen ein Organ, welches der

Digitized by Google

leichten Zerstörung unterworfen ist und eine fortwährende Quelle von Unregelmässigkeiten in sich schliesst. Aus diesem Grunde konnten auch diese Maschinen, die sonst trotz des Mangels an der Continuität des Stromes für manche industrielle Zwecke und sogar zur Erzeugung des elektrischen Lichtes wohl hätten verwendet werden können, keine allgemeine Verbreitung finden.

Den nächsten Schritt zur Verbesserung der Maschine von *Pixii* machten *Saxton* und *Clarke*, indem sie statt des schweren, aus mehreren Stahl-Lamellen zusammengesetzten Magnets den viel leichtern Inductor dicht an den Polen des Magnets vorbei rotiren liessen. Während *Saxton* sowohl dem Magnet als auch dem Inductor die horizontale Lage gab, stellte *Clarke* den Magnet vertical auf und liess den Inductor vor den Polen desselben rotiren.

27. Die magnet-elektrische Maschine von Stöhrer. Den Uebergang zu den grossen Maschinen, welche später zur Erzeugung des elektrischen Lichtes gebaut wurden, machte *Stöhrer* in Leipzig, indem er mehrere sehr grosse und starke zusammengesetzte Stahlmagnete vertical aufrecht stellte und dicht über den Polen derselben ein System von einzelnen mit einander in Verbindung stehenden Inductoren sehr schnell rotiren liess.

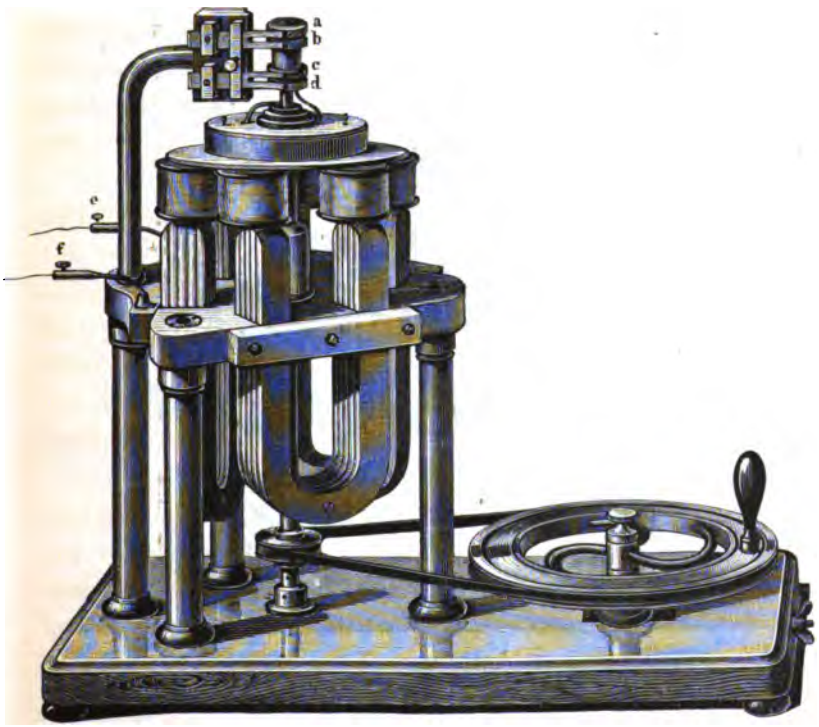
Die Fig. 57 (s. f. S.) zeigt eine solche *Stöhrer*'sche Maschine mit drei Magneten und sechs in gleichen Abständen von einander in einem Kreisumfange stehenden Polen, über denen eben so viele Inductorrollen stehen. Letztere sind auf einer gemeinschaftlichen Eisenplatte befestigt, welche in sehr rasche Rotation versetzt wird, wenn man ihre verticale Achse mittelst des grössern Rades und des auf dieser Achse befestigten kleinern Wirtels in Umdrehung versetzt. Die Windungen der einzelnen Rollen sind selbstredend so geordnet, dass die bei der Annäherung an die verschiedenen Magnetpole entstehenden Inductionsströme in jeder Rolle

Digitized by Google

dieselbe Richtung haben, wonach man bei der darauf folgenden Entfernung der Rollen von den Magnetpolen abermals unter sich gleichgerichtete Ströme erhält, deren Richtung jedoch der vorigen entgegengesetzt ist.

Die abgebildete Maschine liefert daher bei jeder vollen Umdrehung der die Rollen tragenden Achse zwölf Ströme, welche alternirend bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung laufen; ein jeder dieser Ströme besteht aber

Fig. 57.



Die magnet-elektrische Maschine von Stöhrer.

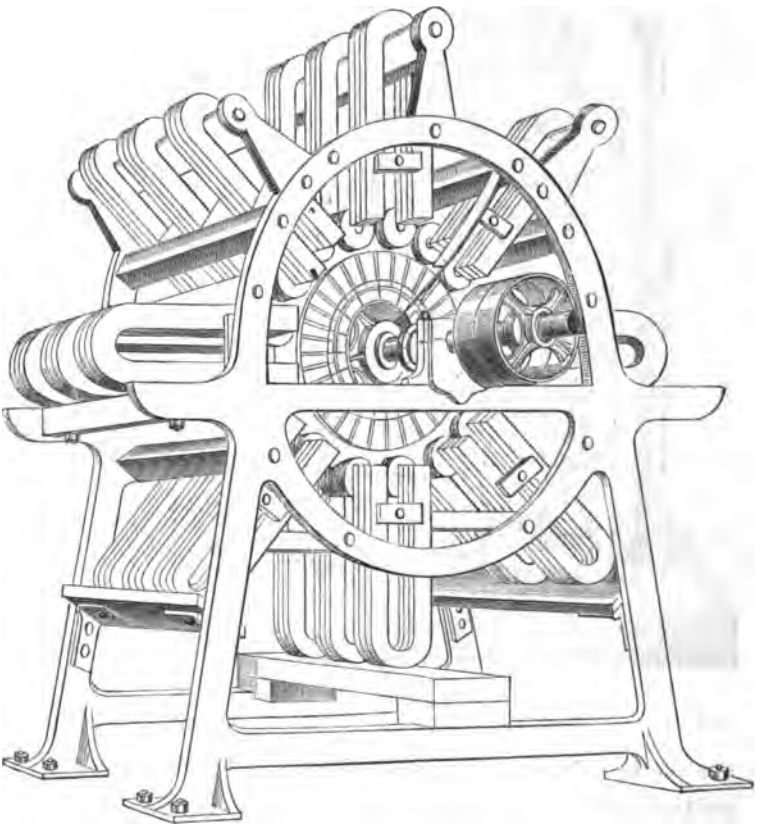
aus sechs Elementarströmen, die in jeder Rolle gleichzeitig auftreten und sich wegen ihrer gleichen Richtung jedesmal zu einem starken Strome vereinigen.

Digitized by Google

Oberhalb der Inductorrollen sitzt auf der Achse der Maschine der Commutator *a b*, *c d* mit den seitlichen Schleiffedern, durch welche die sämmtlichen Ströme eine und dieselbe Richtung erhalten können und zu den Polklemmen *e*, *f* geführt werden, um von hier aus in die Leitung zu gelangen.

Es ist klar, dass die Stärke der von der Maschine erzeugten Ströme von der Stärke der Stahlmagnete, von dem Abstande zwischen den Inductorkernen und den Magnetpolen, von der Anzahl der Drahtwindungen eines jeden Inductors und endlich von der Geschwindigkeit der Rotation abhängt.

Fig. 58.

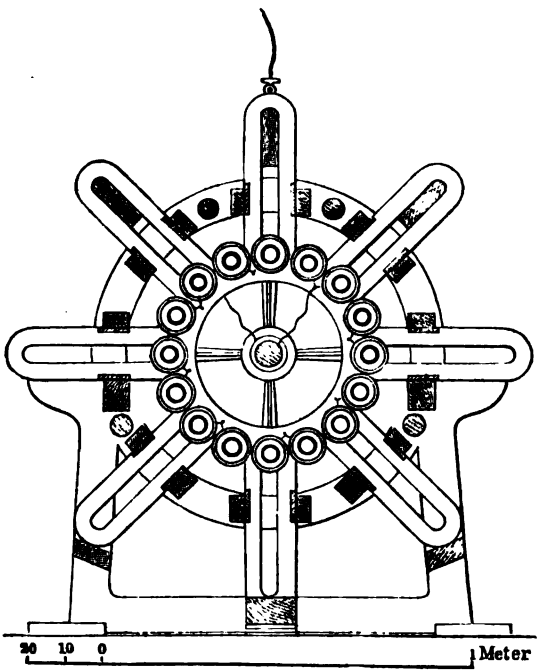


Magnet-elektrische Maschine der Gesellschaft l'Alliance.

Digitized by Google

28. Die grossen magnet-elektrischen Rotationsmaschinen. Maschinen der Gesellschaft l'Alliance und von Holmes. Die günstigen Resultate, welche die grösseren magnet-elektrischen Maschinen von *Stöhrer* und von englischen Mechanikern lieferten, liessen erwarten, dass es durch eine Steigerung der zuletzt genannten Verhältnisse, durch welche die Stärke der Inductionsströme bedingt ist, gelingen werde, Ströme von solcher Intensität zu erhalten, wie sie zur Zersetzung des Wassers im Grossen und zur Erzeugung einer reichen Quantität von Wasserstoffgas erforderlich sind. Auf diese Weise entstanden die magnet-elektrischen Grossmaschinen, unter denen die der Gesellschaft *l'Alliance* und des Engländers *Holmes* (1857) die bekannteren sind.

Fig. 59.



Verticaler Durchschnitt durch die Alliance-Maschine.

Digitized by Google

Die *Alliance*-Maschine, wie sie nach der Verbesserung von *Van Malderen* in Fig. 58 abgebildet ist, wurde zuerst von *Nollet*, Professor der Physik an der Kriegsschule zu Brüssel, construirt. Sie besteht aus vier resp. auch sechs Messingscheiben (Fig. 59), welche auf der gemeinschaftlichen, horizontal gelagerten Rotationsachse in gleichen Entfernungen von einander befestigt sind. Eine jede dieser Scheiben trägt an ihrem Umfange in gleichen Abständen 16 Inductorrollen.

An den Seitenflächen des gusseisernen Gestelles sind acht horizontale Stäbe parallel zur Achse befestigt, auf denen die drei oder fünf starken Stahlmagnete strahlenförmig derart festgeschraubt sind, dass immer je zwei entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen, mag man sie parallel zu der Rotationsachse oder in einer Ebene senkrecht zu dieser Achse ansehen. Zwischen diesen Polen rotiren die genannten Inductorrollen, deren Drahtwindungen jedoch etwas anders angeordnet sind wie in der Maschine von *Clarke*.

Da jede Messingscheibe 16 Inductorrollen enthält, hat man deren im Ganzen 64, und da sie in gleichen Abständen von einander angebracht sind, so müssen sämmtliche Rollen den Magnetpolen gegenüberstehen, wenn dieses bei einer von ihnen der Fall ist.

Da in der Regel eine solche Maschine vier oder sechs Messingscheiben hat, so entsprechen letzteren 64 Rollen und 32 Magnete oder 96 Rollen und 48 Magnete. Das eine Ende (Pol) des Gesammtdrahtes ist auf der Achse befestigt und steht dadurch mit dem eisernen Gerüste der Maschine in leitender Verbindung; das andere Ende geht an einen concentrisch um die Achse gelegten, aber von ihr durch ein isolirendes Material getrennten metallischen Ring.

Bei jedem Vorübergange einer Drahtrolle vor den Polen eines Magnets wechselt der Strom in derselben seine Richtung; man hat daher, da dieselbe bei jeder Umdrehung an 16 Polen vorübergeht, 16 Stromwechsel bei jedem Umlaufe der Achse,

Digitized by Google

was bei 400 Umdrehungen in der Minute wenigstens 100 Stromwechsel in der Secunde macht. Die Maschine wird durch eine Dampfmaschine von etwa 5 Pferdekräften in Bewegung gesetzt und liefert bei vier Scheiben ein elektrisches Kohlenlicht von 150 und bei sechs Scheiben von 200 *Carcel*'schen Brennern (à 7 Normal-Paraffine-Kerzen). Die ersten Maschinen dieser Art von *Nollet* hatten noch einen Commutator, um Ströme von gleicher Richtung zu erhalten; erst mit der Beseitigung desselben durch *Van Malderen* gewann die Maschine eine grosse praktische Bedeutung sowohl zur Erzeugung des elektrischen Lichtes für Leuchtthürme als auch für andere industrielle Zwecke.

Am besten und vollständigsten hat *Le Roux* die Theorie der *Alliance*-Maschinen, ihre Construction, ihre Wirkungsart und ihre Leistung in zwei Vorlesungen[1]) behandelt, welche er in der *Société d'Encouragement etc.* gehalten hat; er spricht sich darin über die Erzeugung des elektrischen Lichtes vermittelst der Wechselströme folgendermaassen aus:

„Da der Strom seine Richtung wechselt und zwar mehr als 100mal in der Secunde, so muss die Stromstärke bei jedem Wechsel auf Null herabsinken; es muss daher der elektrische Flammenbogen zwischen den Kohlenspitzen 100-mal in der Secunde unterbrochen werden und seine Leuchtkraft verlieren.[2]) Wenn nun trotzdem das elektrische Licht uns continuirlich erscheint, so rührt das zum Theil davon her, dass ein Lichteindruck auf die Netzhaut noch eine Zeit lang nach dem Aufhören des Lichtes fortbesteht, theils da-

---

1) „Les machines magnéto-électriques françaises et l'application de l'électricité à l'éclairage des phares", deux leçons faites à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. Bulletin de la Soc. d'encour. t. XIV. (1867).

2) Wird der Strom nur $^1/_{20}$" unterbrochen, so ist ein Abnehmen der Lichtstärke beim Kohlenlichte nicht wahrzunehmen; dauert aber die Unterbrechung länger als $^1/_{10}$", so erlischt der Bogen gänzlich.

Digitized by Google

her, dass der eigentliche Flammenbogen nur zum Theil das elektrische Licht ausmacht und der andere Theil von dem Weissglühen der Kohlen herrührt, welches natürlich bei der Unterbrechung des Stromes nicht sofort aufhört. Wenn man aber wieder bedenkt, dass die Spannung der erzeugten Ströme nicht hinreicht, um für gewöhnlich ein Uebersprin-gen des Funkens von einer Kohlenspitze zur anderen zu ermöglichen, und andererseits, dass man den *Volta*'schen Flammenbogen leicht ausblasen kann und dieser dann so lange verlöscht bleibt, bis die Kohlenspitzen von Neuem in Berührung gebracht werden, so erregt es doch einiger-maassen Erstaunen, dass eine so grosse Anzahl von Strom-unterbrechungen das Licht zwischen den Kohlenspitzen nicht zum Verlöschen bringt. Es ist nicht leicht, diese Thatsache zu erklären; die Spannung des Stromes ist zwar nicht stark genug, als dass der Funken zwischen den kalten Kohlen-spitzen überspringen könnte; wenn jedoch dieselben einmal durch den Strom weissglühend geworden sind, erhält ihre nächste Umgebung durch die Temperatur-Erhöhung eine grössere Leitungsfähigkeit, und die von nun an von einer Kohlenspitze zur anderen übergehenden glühenden Kohlen-theilchen bilden eine Art leitender Brücke zwischen beiden; da ohnehin die Zeit der Unterbrechung sehr kurz ist, so fehlt es der die Spitzen einhüllenden Luftschicht an Zeit, ihren jedesmaligen Zustand in bemerkbarer Weise zu ändern, und die elektrische Strömung kann nach statt gehabter Unterbrechung sofort wieder eintreten. Uebrigens ist bei der angegebenen Geschwindigkeit der Rotation unter der Annahme, dass während des Stromwechsels der Mittelpunct der Inductorrolle nur einen Bogen von einem Millimeter beschreibt, die Dauer der Unterbrechung nur der zehn-tausendste Theil einer Secunde."

Die *Alliance*-Maschinen haben vor den anderen Licht-maschinen mit continuirlichem Strome den Vortheil, dass

Digitized by Google

die Magnete der Maschine constant bleiben und ihre Kraft nicht von der Veränderlichkeit der Rotationsgeschwindigkeit abhängig ist; dass die Kohlenspitzen der elektrischen Lampe gleichmässig abbrennen und daher der Flammenbogen stets an derselben Stelle bleibt; dann auch, dass bei den Wechselströmen der Maschine, welche ja auch durch den Elektromagnet der regulirenden Lampe gehen, dieser selbst jeden Augenblick seine Polarität ändert und daher keinen permanenten Magnetismus behält, ein Umstand, der auf den regelmässigen Gang derartiger Regulatoren einen grossen Einfluss ausübt. Dagegen haben die Wechselströme wieder den Nachtheil, dass der Flammenbogen unruhig ist und sich so zu sagen um die Kohlenspitzen herumdreht, was zur Folge hat, dass die einzelnen Puncte der Umgebung bald stärker, bald weniger stark beleuchtet werden.

Die *Alliance*-Maschinen sind auf den Leuchtthürmen von Cap la Hêve (nahe beim Hafen von Havre), vom Cap Gris-Nez bei Calais, von Kronstadt, Odessa u. m. a. in Gebrauch. An ersterem Orte arbeiten vier gleich grosse Maschinen (1,6m lang, 1,320m breit und 1,523m hoch), wozu zwei Dampfmaschinen von fünf Pferdekräften erforderlich sind. Bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 400 Touren in der Minute ist die Lichtstärke am grössten und beträgt, ausserhalb des die Lampe umgebenden Linsen-Apparates gemessen, bei vier Messingscheiben 3500 und bei sechs Messingscheiben 5000 *Carcel*'scher Lampen; das Licht wird in eine Entfernung von 27 Seemeilen oder von 50 Kilometer noch deutlich gesehen.

Nicht minder fanden diese Maschinen zur Erzeugung des elektrischen Lichtes Anwendung auf Seeschiffen, bei nächtlichen Arbeiten umfangreicher Art, z. B. bei den Brückenbauten zu Paris und Kehl, bei dem Bau des neuen Louvre, bei Arbeiten auf grossen Bauplätzen, Werften und in den Docks; dieselben Maschinen spielten eine nicht unbedeutende

Digitized by Google

Rolle bei der Belagerung von Paris im Kriege von 1870—71 sowohl auf dem Mont Valérien als auch auf der Butte Montmartre und anderwärts waren grosse magnet-elektrische Maschinen der beschriebenen Art aufgestellt, um mittelst des von ihnen erzeugten elektrischen Lichtes die nächtlichen Belagerungsarbeiten des Feindes zu beleuchten.

Ungeachtet die *Alliance*-Maschinen ganz gut functioniren, nur eine kleine Betriebskraft erfordern und das Patent der Gesellschaft erloschen ist, denkt doch ausser dieser letzteren Niemand daran, diese Maschinen zu bauen; das deutet allerdings darauf hin, dass dieselben mit Mängeln mancher Art verbunden sein müssen. Ihre Construction ist nichts weniger als einfach und daher sind Betriebsstörungen nicht selten; ausserdem sind sie sehr theuer, und gerade dieser Punct kommt bei der Aufstellung von elektrischen Beleuchtungs-Apparaten für Industriezwecke in erster Linie in Betracht. Zu den schlimmsten Uebelständen dieser Maschinen sind jedoch die Stahlmagnete zu rechnen, welche ungeachtet ihrer Grösse, die doch auch ihre eng gezogene Grenze hat, nie eine so grosse Anziehungskraft annehmen, wie sie zur Erzeugung sehr starker Ströme erforderlich ist. Diesen Mangel der verhältnissmässig kleinen Anziehungskraft, welche dem einzelnen Stahlmagnet innewohnt, durch Vermehrung der Anzahl der wirkenden Magnete zu beseitigen, hat seine grossen Bedenken, weil damit das Gewicht, die Gefahr des Durchbiegens, die Complication und der Preis der Maschine bedeutend zunimmt. Die Anziehungskraft der Magnete nimmt nämlich in einem sehr viel geringern Verhältnisse zu als die Masse des verwandten Stahls; auch nimmt dieselbe nach und nach ab, besonders dann, wenn, wie dieses während des Betriebs der Maschine unaufhörlich geschieht, die rotirenden Anker von den Polen der Magnete gewaltsam abgerissen werden.

Während die *Alliance*-Maschinen ausschliesslich in Frank-

Digitized by Google

reich construirt wurden, baute der englische Physiker *Holmes* nach ähnlichen Principien und zu gleichem Zwecke eine Reihe von magnet-elektrischen Grossmaschinen, unter denen wir nur diejenige hier anführen, auf welche sich das letzte Patent (5. Juni 1869) bezieht. *Holmes* lässt die Inductorrollen nicht zwischen den Polen von Stahlmagneten rotiren, sondern er stellt dieselben in der Zahl von 20 am Umfange einer Scheibe fest auf und ersetzt die Stahlmagnete durch fünf V-förmig gestaltete Elektromagnete, deren zehn Pole bei der Rotation der die letzteren tragenden Scheibe dicht an den Eisenkernen der festen Inductorrollen vorüberlaufen. Ein Theil des erzeugten Stromes wird dazu verwendet, die Elektromagnete zu magnetisiren, und die Verbindung der Inductorrollen untereinander ist eine solche, dass gleichzeitig mehrere von einander unabhängige Ströme von der Maschine abgeleitet und desshalb gleichzeitig mehrere elektrische Lampen unterhalten werden können. Dass diese Maschinen ebenfalls Wechselströme erzeugen und eines Commutators bedürfen, um Ströme von einerlei Richtung zu geben, versteht sich von selbst.

29. Der Siemens'sche Inductor. Eine bedeutende Verbesserung wurde den magnet-elektrischen Maschinen bereits im Jahre 1857 durch *Dr. W. Siemens* in Berlin zu Theil, indem er der Inductorrolle eine Gestalt und eine Lage zu den Stahlmagneten gab, bei welcher es möglich war, nicht nur die höchste inducirende Kraft der Magnetpole auszunutzen, sondern auch die Dauer der Stromunterbrechungen erheblich zu verkürzen.

In seiner einfachsten Gestalt besteht dieser Inductor aus einem Eisencylinder Fig. 60 und Fig. 61, welcher der Länge

Fig. 60.

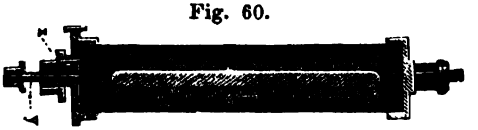


Fig. 61.

Der Siemens'sche Inductor.

Digitized by Google

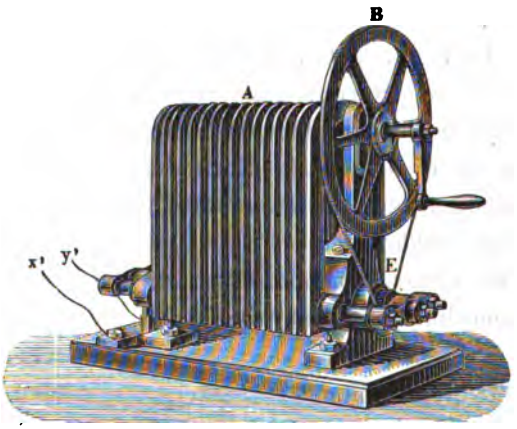
nach mit zwei gegenüberstehenden, etwa $^1/_2$ des Durchmessers tiefen und $^2/_3$ desselben breiten Einschnitten versehen ist. Die durch das weggeschnittene Eisen entstandene, um den ganzen übrig gebliebenen Eisenrahmen herumlaufende Nuth ist mit isolirtem Kupferdraht derart umwickelt, dass die cylindrische Form der früheren Eisenstange durch die Drahtwindungen wieder vollständig hergestellt wird. Das eine Ende dieses Drahtes steht mit der Achse *y* des Cylinders in Verbindung, das andere geht nach aussen und ist auf einem von dieser Achse isolirten, aber auf ihr festsitzenden Kupferringe *x* befestigt.

Die Fig. 62 und Fig. 63 zeigen, welche Lage ein solcher

Fig. 62.

Lage des Siemens'schen Inductors zu den Magneten.

Fig. 63.



Inductions-Maschine mit Siemens'schem Inductor.

Digitized by Google

Cylinder-Inductor zu den Polen des Stahlmagnets hat und in welcher Weise er seine Bewegung erhält. Die einzelnen mit geringen Zwischenräumen parallel neben einander stehenden Stahlmagnete $G\,G'$ (Fig. 62) haben sämmtlich an der inneren Seite, wo sie dem Cylinder E gegenüber stehen, einen kreissegmentförmigen Ausschnitt $m\,m$ und bilden so an der Stelle der grössten magnetischen Kraft einen cylinderförmigen Raum, in welchen der Cylinder-Inductor mit möglichst wenig Spielraum passt; die hinteren Enden der Magnetstäbe sind entweder, wie in Fig. 62, durch weiches Eisen rechteckig verbunden oder sie sind, wie in Fig. 63, direct aus einem Stücke hufeisenförmig geschmiedet.

Vermittelst einer Riemenscheibe oder ein paar Zahnräder wird dem Inductor eine grosse Rotationsgeschwindigkeit gegeben, und es ist leicht einzusehen, dass bei jeder halben Umdrehung der Magnetismus in den inneren flachen Eisenkernen des Inductors der ganzen Länge nach umgekehrt und dadurch jedesmal ein der Grösse des entwickelten Magnetismus proportionaler Inductionsstrom in den Windungen der Drahtspirale erzeugt wird, vorausgesetzt, dass letztere zu einem ununterbrochen leitenden Kreise geschlossen ist.

Um diesen Kreis schliessen und die auftretenden Inductionsströme nach aussen leiten zu können, stehen zu beiden Seiten des Inductors auf der dem Kurbelrade B (Fig. 63) entgegengesetzten Seite zwei Schleiffedern, von denen die eine stets gegen den Ring x (Fig. 60), die andere gegen die Cylinderachse y federt; diese Federn stehen mit zwei Klemmen x', y' (Fig. 63) in Verbindung, von denen die Leitung nach aussen abgeht. Wird diese geschlossen, so bildet die Drahtspirale des Inductors mit den Federn x, y und den Klemmen x', y' eine ununterbrochene Leitung, in welcher die Inductionsströme auf die bezeichnete Weise circuliren können.

Die bei der Drehung des Cylinders E entstehenden aufeinander folgenden Ströme haben wechselnde Richtung und

Digitized by Google

genau gleichen elektrischen Effect. Da jedoch die beiden sichelförmigen, stehengebliebenen Theile des Eisencylinders einander sehr nahe sind und bei der sehr schnellen Rotation des verhältnissmässig dünnen Cylinders der eine Theil sehr rasch an die Stelle des anderen tritt, so sind die Intervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima der magnetischen Kraft im Cylinder, und daher auch die Pausen zwischen den aufeinanderfolgenden Strömen äusserst klein. Der *Siemens*'sche Cylinder-Inductor liefert daher zwar immer noch Wechselströme mit entsprechender Stromunterbrechung; wenn aber durch Einschaltung eines Commutators der Stromwechsel beseitigt und allen Strömen eine und dieselbe Richtung gegeben wird, so nähert sich die Gesammtheit der Ströme schon bedeutend dem continuirlich fliessenden Strome einer galvanischen Batterie.

Diese erste praktische Form der magnet-elektrischen Maschinen fand und findet heute noch immer mehr eine sehr ausgedehnte Verwendung zum Ingangsetzen der Eisenbahnläutwerke und als Aufruf-Apparat bei den Telephon-Sprech-Stationen.

30. Der Siemens'sche magnet-elektrische Läute-Inductor. Aus der Fig. 64 wird man sofort erkennen, dass die Construction dieser Maschine im Wesentlichen mit den in Fig. 63 beschriebenen kleinen magnet-elektrischen Maschinen übereinstimmt. Der rotirende Anker E hat in beiden Apparaten genau dieselbe Einrichtung.

Das eine Ende des Umwickelungsdrahtes endigt in der Cylinderachse f, das andere in der Knagge k, welche sammt dem Stahlringe r von der Achse f isolirt ist. Auf dem Metallringe r schleifen zwei Federn, von denen in der Zeichnung nur die obere sichtbar ist. Beide Federn stehen in metallischer Verbindung mit dem Stücke S, welches von dem Lager V isolirt ist. Es steht somit das eine Ende des Inductordrahtes mit dem Stücke S in Verbindung, welches

Digitized by Google

durch die betreffende Schaltung mit dem die Läutwerke enthaltenden Leitungsdrahte communicirt; das andere Ende

Fig. 64.

Der Siemens'sche magnet-elektrische Läute-Inductor.

steht durch die Achse *f* mit dem Lager *V* in Verbindung,

Digitized by Google

welches mittelst eines Drahtes durch die Schraube *W* mit der Erde communicirt.

Der Gebrauch des Läute-Inductors besteht nun einfach darin, dass, wenn ein Zug abgeläutet werden soll, der Apparat durch einen Umschalter in die Leitung eingeschaltet und die Kurbel *H* mit ihrer Riemenscheibe *L* in nicht zu langsamer Bewegung gedreht wird; es wird dadurch eine Anzahl schnell hintereinander folgender Ströme in die Leitung gesandt, der Elektromagnet eines jeden eingeschalteten Läutewerkes magnetisirt und in Folge des Ankeranzuges das Laufwerk selbst ausgelöst und in Bewegung gesetzt.

Die mannigfachen Vortheile derartiger Maschinen liegen auf der Hand: die früher erforderlichen grossen Läutbatterieen kommen in Wegfall und damit alle die mannigfachen Arbeiten, Unkosten und Störungen, welche aus der Instandhaltung und Ueberwachung so vieler galvanischer Elemente entspringen. Da die Ströme kräftiger Inductoren selbst Batterieen von 100 Elementen übertreffen, so ist auch deren Wirkung auf die Elektromagnete der schweren Läutwerke entsprechend kräftiger; es können desshalb auch die Federn, welche die Anker der Elektromagnete abziehen müssen, weit stärker als sonst angespannt werden; eine scharfe Einstellung dieser Anker ist also nicht mehr nöthig, ein unzeitiges Auslösen der Werke durch Erschütterungen u. s. w. kommt nicht mehr vor und die Läutwerke functioniren weit sicherer, als dies früher bei Batterieströmen der Fall war.

31. Die magnet-elektrische Maschine von Wilde. Einen weitern Fortschritt in der Ausbildung der magnet-elektrischen Maschinen machte *H. Wilde* in Manchester, indem er ebenfalls den *Siemens*'schen Cylinder-Inductor zum Ausgangspuncte nahm.

Am 13. April 1866 theilte *Wilde* der *Royal Society* in London eine Reihe von Versuchen mit, die er mit einer neuen magnet-elektrischen Maschine angestellt hatte. Die-

Digitized by Google

selbe bestand aus einer Combination zweier rotirender Cylinder-Inductoren, von denen der eine einem System von Stahlmagneten, der andere aber einem sehr starken Elektromagnete von weichem Eisen angehörte. Der Strom des ersten Inductors wurde zur Magnetisirung des Elektromagnets benutzt, während der zwischen den Polen dieses Elektromagnets rotirende Cylinder freie Ströme gab, die zum Glühen von Platin- oder Eisendrähten, zum Niederschlagen der Metalle aus ihren Lösungen und zur Darstellung des elektrischen Lichtes benutzt werden konnten.

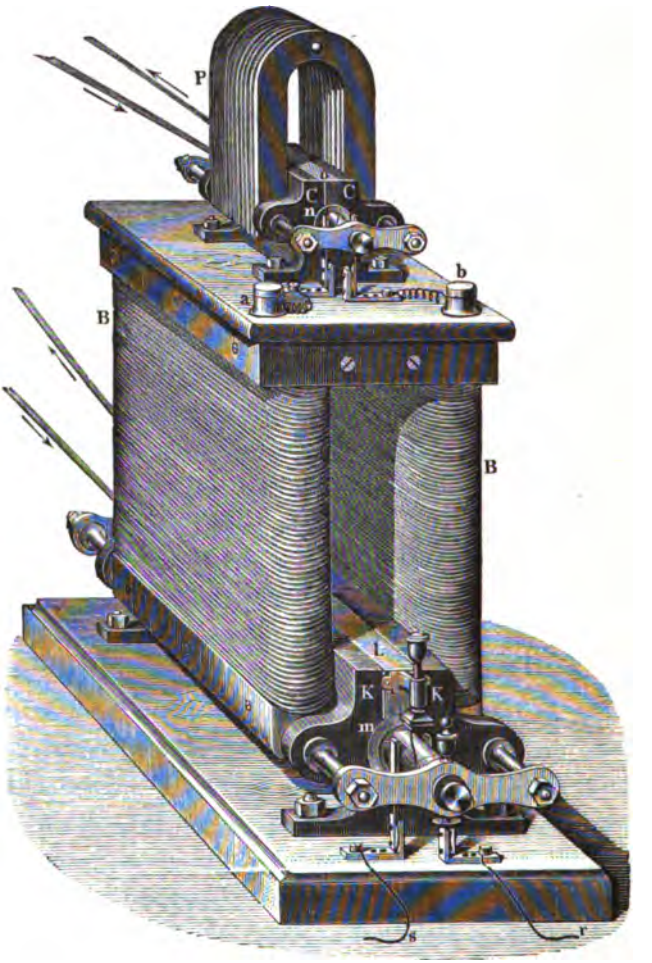
Die Figur 65 zeigt diese magnet-elektrische Maschine von *Wilde* in perspectivischer Ansicht. Dieselbe besteht aus zwei übereinander stehenden Abtheilungen, von denen die obere *P* die aus 16 Stahlmagneten bestehende gewöhnliche *Siemens*'sche Maschine darstellt (Fig. 63), die untere *B* aber einen einzigen, sehr grossen Elektromagnet mit zugehörigem Cylinder-Inductor bildet. Die Schenkel dieses Elektromagnets sind zwei parallele, 18 Centimeter hohe Platten *B B* von gewalztem Eisen, die oben mit einer eisernen Platte gedeckt und um welche 1000 Meter eines dicken Kupferdrahtes gewickelt sind. Die Cylinder-Inductoren werden durch eine kleine Dampfmaschine von drei Pferdekräften in Umdrehung versetzt, wobei der untere grössere Inductor *L* 1700 bis 1800 Touren in der Minute macht.

Die Enden des den Elektromagnet bildenden dicken Drahtes sind in Klemmen *a*, *b* befestigt, welche auf der oberen Eisenplatte isolirt stehen, und eben dahin gehen auch die Enden des obern Inductordrahtes, so dass die von dem obern kleinern Cylinder *C C* gelieferten Ströme durch diese Klemmen in den Umwindungsdraht des grossen Elektromagnets fliessen. Mit der Umdrehungszahl des obern Inductors wächst die Intensität dieser Ströme, die ausserdem noch mittelst Anwendung eines Commutators *n* auf die bekannte Weise (§. 26) eine und dieselbe Richtung erhalten.

Digitized by Google

Indem diese Ströme in den Elektromagnet eingeführt werden, erhält dieser eine weit grössere magnetische Kraft, als die 16 Stahlmagnete vereint besitzen, woraus dann von

Fig. 65.



Die magnet-elektrische Maschine von Wilde.

selbst folgt, dass die aus der Rotation des untern Inductors *L* hervorgehenden, aus zwei unteren Klemmen austreten-

Digitized by Google

den und in die Leitung *s*, *r* übergehenden Ströme weit stärker sind, als die der oberen Magnetmaschine. Natürlich ist zur Inganghaltung derselben auch eine viel grössere Kraft erforderlich. Die Magnetpole sind mit Armaturen, oben *C C*, unten *K K*, die Inductoren mit je einem Commutator *n*, *m* versehen.

Bei einer der ersten Maschinen von *Wilde* hatte jeder der oberen 16 Stahlmagnete eine Tragkraft von 10kg, das ganze Magazin also eine Tragkraft von 160kg, wogegen der Elektromagnet unter dem Einflusse der aus dem obern Inductor gewonnenen magnet-elektrischen Ströme die enorme Tragkraft von nahe 5000kg gewann. Dass die unter dem Einflusse einer solchen magnetischen Kraft und einer so bedeutenden Umdrehungsgeschwindigkeit des untern Inductors gewonnenen Inductionsströme, welche von dem auf der Rotationsachse befindlichen Commutator gleiche Richtung erhielten, eine aussergewöhnliche Stärke besassen und sowohl in den Glüh-Erscheinungen als in den chemischen, magnetischen und elektrischen (Licht-) Wirkungen ganz Ausserordentliches leisteten, ist von selbst klar.

Wilde ging noch weiter. Anstatt die Ströme des untern Inductors zu den zuletzt genannten Zwecken zu verwenden, fügte er seiner Maschine noch einen zweiten, weit grössern, ebenfalls aus Eisenplatten gebildeten Elektromagnet mit entsprechend grösserem Cylinder-Inductor hinzu, so dass die ganze Maschine aus einer kleineren magnet-elektrischen Maschine, zwei Elektromagneten und drei rotirenden Cylindern bestand.

Bezeichnen wir den ersten Inductor mit E, den ersten Elektromagnet mit M_1 und dessen Inductor mit E_1, den letzten und grössten Elektromagnet mit M_2 und dessen Inductor mit E_2, so wurden die von E gelieferten ersten Inductionsströme zu M_1 geleitet und dieser dadurch, wie vorhin bereits bemerkt ist, schon sehr stark magnetisirt.

Digitized by Google

Die von dem Inductor E_1 dieses Elektromagnets gelieferten schon sehr starken Ströme wurden zu M_2 geleitet, der nunmehr eine so ausserordentlich grosse magnetische Kraft erhielt, dass die aus der schnellen Rotation von E_2 hervorgehenden Ströme in ihrer Wirkung bei Weitem Alles übertrafen, was man seither mit kräftig erzeugten galvanischen Strömen zu leisten im Stande gewesen war.

Am 2. März 1867 wurde mit einer solchen dreifachen *Wilde*'schen Maschine in *Burlington House* in London im Beisein von *Sabine* und anderen hervorragenden wissenschaftlichen Autoritäten eine Reihe von Versuchen angestellt, über welche das *„Athenäum"* folgendermaassen berichtet:

„In der Maschine selbst lag schon etwas Achtunggebietendes, da die Elektromagnete aus 4 Fuss hohen und 10 Zoll dicken, 14 Centner Kupferdraht enthaltenden Schenkeln bestanden, zwischen denen eine Armatur (Cylinder-Inductor) lag, die durch die ausserhalb des Gebäudes aufgestellte Dampfmaschine von 15 Pferdekräften mit einer Geschwindigkeit von 1500 Touren in der Minute umgedreht wurde. Um und um flogen die Cylinder und jede Rotation sandte neue elektrische Ströme in die Elektromagnete, als plötzlich der freie aus der Maschine austretende Strom mit voller Kraft in eine am Ende des Versuchslocals aufgestellte elektrische Lampe geleitet wurde und sofort zwischen den fingerdicken Kohlenstäben ein ungemein intensives elektrisches Licht vor den Augen der Zuschauer aufflammte, das sie eben so blendete wie der Glanz der Mittagsonne und alle Ecken und Winkel des grossen Saales mit einem Glanze erleuchtete, der den Sonnenschein übertraf und gegen welchen die hell brennenden Gasflammen in der Mitte des Zimmers braun erschienen. Ein in der Richtung des Lichtstrahls gehaltenes Brennglas brannte Löcher in das Papier, und wer die Wärme mit ausgestreckter Hand auffing, konnte dieselbe in einer Entfernung von 150 Fuss noch deutlich wahrnehmen. Dann

Digitized by Google

spannte man eine lange eiserne Drahtschlinge in die Leitung ein; nach wenigen Minuten glühte der Draht, nahm eine mattrothe Farbe an, wurde weissglühend und fiel in glühenden Stücken zu Boden. Eben so wurde ein kurzes Stück Eisen von der Dicke des kleinen Fingers geschmolzen und verbrannt; aber alle diese Versuche wurden überstrahlt von dem Schmelzen des schwerflüssigsten Metalls, eines Platinstabes von mehr als 1/4 Zoll Durchmesser und von 2 Fuss Länge."

Die *Wilde*'sche Maschine fand bald mehrfache Anwendung, so u. A. in der berühmten galvanoplastischen Anstalt von *Elkington* in Birmingham, wo sie zu den grossartigen Arbeiten dieses Instituts in Metall-Niederschlägen verwendet wurde. Eine andere Fabrik in Whitechapel benutzte den elektrischen Strom dieser Maschine zur Erzeugung von Ozon, um dieses als Bleichmittel zu verwenden. In den umfangreichen photographischen Ateliers von *Woodbury* und von *Saxon & Co.* in Manchester dienten *Wilde*'sche Maschinen zur Erzeugung eines intensiven elektrischen Lichtes, um mittelst desselben zu jeder Zeit und unter allen Witterungsverhältnissen das Druckverfahren zu beschleunigen. In dem letztgenannten Etablissement soll die Maschine bei Tag und Nacht in Thätigkeit gewesen sein, so dass die Herstellung der schärfsten photographischen Abdrücke innerhalb 24 Stunden nach der Aufnahme garantirt wurde. In Frankreich hat die Gesellschaft *l'Alliance* das Recht erworben, den Apparat zur Beleuchtung der Leuchtthürme anzuwenden.

Ungeachtet dieser grossartigen Leistungen hat die *Wilde*'sche Maschine doch keine allgemeine Verbreitung gefunden. Es ist nämlich zu bemerken, dass bei der ausserordentlichen Geschwindigkeit, mit welcher die Cylinder rotiren und demgemäss in ihren Eisenkernen die Polarität wechselt, dieselben sich sehr stark erhitzen, wodurch dann die Intensität des Stromes abnimmt und die Isolirung der Drahtwicklung Schaden

Digitized by Google

leidet. So viel aus der Veröffentlichung der Versuche bekannt geworden ist, hat es nicht gelingen wollen, mit der *Wilde*'schen Maschine das elektrische Licht acht oder zehn Stunden constant zu erhalten, was doch von dem Lichte eines Leuchtthurmes verlangt werden muss.

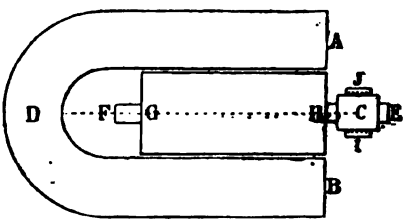
Man sieht leicht ein, dass die Möglichkeit der zunehmenden Verstärkung des Magnetismus in den Eisenplatten der feststehenden Elektromagnete der molekularen Trägheit eben dieser Eisenmasse zuzuschreiben ist. In Folge dieser Trägheit hat der jedesmal vorhandene freie Magnetismus des Elektromagnets nicht Zeit, während des äusserst kurzen Intervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Inductionsströmen, wie sie der Inductor liefert, zu verschwinden oder überhaupt nur merklich abzunehmen. Dadurch kommt es, dass bei einer sehr schnellen Umdrehung des Inductors die durch den Commutator gleich gerichteten Inductionsströme ihre magnetisirende Wirkung auf die eisernen Kerne des Elektromagnets voll ausüben und trotz der intermittirenden Wirkung doch den Magnetismus der Eisenschenkel fortwährend steigern, die dann, wie bereits gesagt, ihrerseits wieder mit dieser erhöhten magnetischen Kraft auf den zweiten Cylinder-Inductor wirken und so Ströme erzeugen, deren Intensität durch die Masse des verwendeten Eisens und die zur Rotation der Cylinder aufgewandte Arbeit bestimmt wird.

32. Magnet-elektrische Maschine von Deprez. Eine Verbesserung der vorhin beschriebenen magnet-elektrischen Maschinen strebte *Marcel Deprez* durch eine bessere Ausnutzung des magnetischen Feldes an. Mit Recht bemerkt *Deprez*, dass bei den seither construirten Maschinen thatsächlich bloss das Inductionsvermögen der Polenden ausgenutzt wird, wahrscheinlich, weil man annahm, dass die Gegenwart von magnetischen Massen oder beweglichen Schliessungskreisen, die vor den Polen aufgestellt sind, die disponible inducirende Wirkung der übrigen Theile des

Digitized by Google

Magnets beträchtlich vermindert. Eine solche Anschauungsweise ist indessen unrichtig, wie schon aus den Resultaten mit einer kleinen Maschine hervorgeht, welche *Deprez* in folgender Weise anordnete (vgl. Fig. 66). *A D B* ist ein permanenter Hufeisenmagnet, zwischen dessen Schenkeln sich ein *Siemens*'scher Inductor *F G H C* befindet, der um die Achse *F C* beweglich und mit einem einfachen Commutator bei *C* versehen ist, an welchem die beiden Bürsten *J* und *I* sich reiben und so den Strom nach aussen fortleiten. Die Länge des *Siemens*'schen Inductors ist fast genau so gross wie die geraden Theile der Schenkel des Magnets, so dass die ganze inducirende Kraft dieser Schenkel verwerthet wird.

Fig. 66.



Deprez's Maschine.

Das erste ausgeführte Modell hatte die folgenden Dimensionen:

Die Länge des Hufeisenmagnets, gemessen von den Polflächen bis zum Scheitel des gekrümmten Theiles	145 mm
Innerer Abstand der Schenkel	33 „
Dicke des Magnetmagazins	25 „
Durchmesser des *Siemens*'schen Inductors	32 „
Länge des Eisenkerns	60 „
Gewicht des Magnets	1,70 kg
Gewicht des ganzen Apparates	2,85 kg

Deprez erhielt mit dieser kleinen Maschine alle Wirkungen wie mit drei *Bunsen*'schen Elementen. Sie ist auch umkehrbar und bildet einen guten kleinen Motor für Laboratoriumszwecke. Die in der Secunde entwickelte Arbeit in

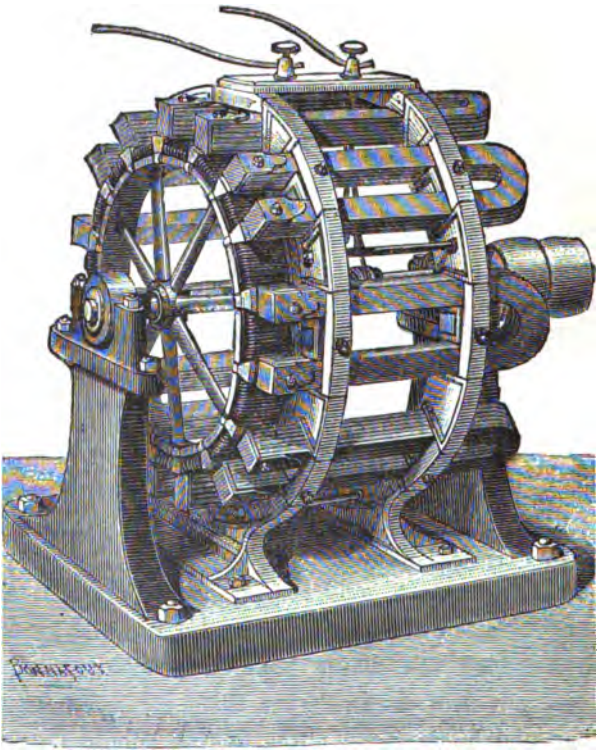
Digitized by Google

Kilogramm-Meter betrug 0,04 0,20 0,45 0,75 1,10 1,80
wenn die Maschine durch 1 2 3 4 5 8
Bunsen'sche Elemente in Thätigkeit versetzt wurde. Liess dieses Resultat zur Zeit erwarten, dass die Beobachtungen *Deprez's* bei der Construction neuer Maschinen nicht unbeachtet bleiben würden, so bestätigte sich diese Ansicht bald nachher, als *Heinrichs* und *Desmond G. Fitzgerald* (s. A. V.) dynamo-elektrische Maschinen construirten, deren Inductoren fast ganz von den Elektromagneten eingeschlossen wurden.

Viel spätern Datums (16. April 1878) ist schliesslich

33. Die magnet-elektrische Maschine von de Méritens, welche

Fig. 67.



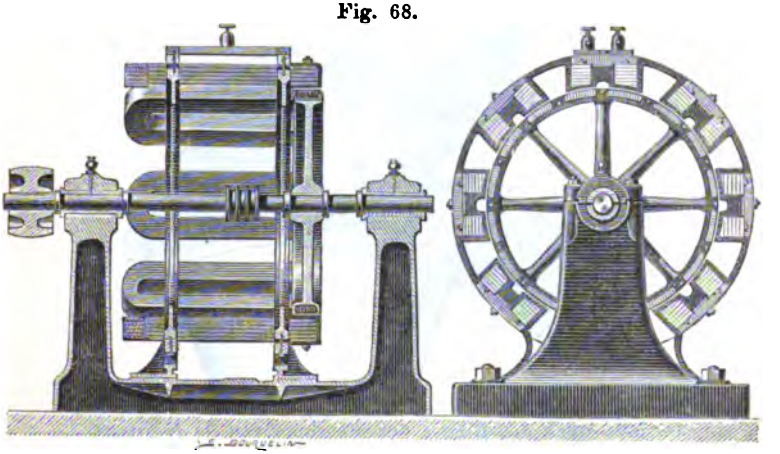
Maschine von de Méritens.

Digitized by Google

sich zwar wiederum den *Alliance*-Maschinen nähert, von diesen jedoch insbesondere durch eine eigenartige Construction des Inductors abweicht.

Die wesentlichen Theile der Maschine von *de Méritens* (Fig. 67) bestehen, wie die Fig. 67, 68 und 69 zeigen, aus einer Reihe von acht an einem starken Doppelgestelle von Bronze horizontal befestigten Stahlmagneten und einem auf einer horizontalen Welle mittels acht Speichen befestigten Radkranz (Inductor), auf welchem sich in gleichen Abständen von einander 16 Drahtspulen befinden, welche bei der Drehung der Welle sehr nahe unter den 16 Magnetpolen vorbei rotiren.

Fig. 68.



Magnet-elektrische Maschine von de Méritens.

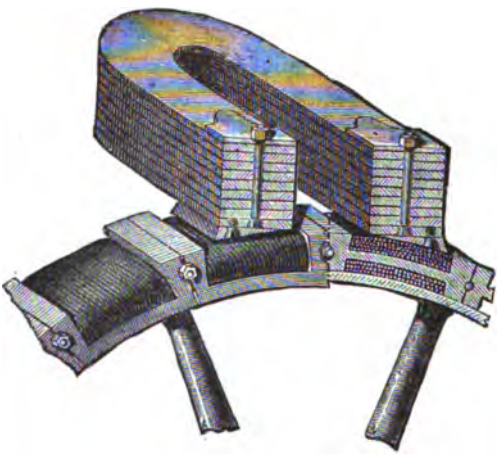
Zum bessern Verständnisse der Art und Weise, wie die inducirten Ströme entstehen, nehmen wir nach *du Moncel* statt der 8 Stahlmagnete mit 16 Polen nur 2 Magnete mit 4 Polen (Fig. 70), und dem entsprechend den eisernen Ring aus 4 Segmenten bestehend, welche von einander magnetisch isolirt und mit Draht umwickelt sind. Jeder dieser Eisenkerne besteht aus 50 und mehr 1mm dicken aufeinander gelegten Eisenblättern und trägt an jedem Ende eine aus ähnlichen Blättern bestehende Verstärkung *A B*, zwischen

Digitized by Google

welchen die Drahtwindungen eingelagert sind. Die zwei aneinandergränzenden Kopfstücke *A B* werden durch Kupferstücke *C D* fest mit einander verbunden, so dass der ganze Ring 4 (bei der wirklichen Maschine 16) kräftige Elektromagnete darstellt, welche bei der Drehung des Ringes dicht unter den 16 abwechselnd entgegengesetzten Polen der Stahlmagnete rotiren.

Nähert sich bei einer Drehung von links nach rechts der Eisenkopf *B* dem Südpole *S* des nächsten Stahlmagnets, so

Fig. 69.



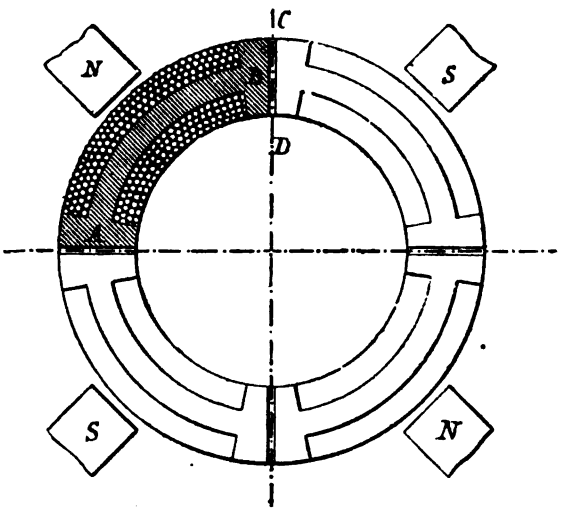
Ein Stück des Ringes der Maschine von de Méritens.

wird während der Magnetisirung des Eisenkopfes *B* in der Drahtspule *B A*, wie in den oben beschriebenen magnet-elektrischen Maschinen, ein Inductionsstrom erzeugt von entgegengesetzter Richtung zu denjenigen Solenoidströmen, die nach der *Ampère*'schen Ansicht den Magnetpol *S* umkreisen. Der Pol *S* erzeugt dabei in dem innern Eisenkerne des Ringes einen Nordpol, welcher sich bei der Drehung des Ringes im Innern der Drahtspule verschiebt und eben hierdurch einen zweiten Inductionsstrom hervorruft. Diese Ströme sind um so energischer, je geringer

Digitized by Google

die Entfernung ist zwischen den Drähten und Eisenköpfen $A\,B$ einerseits und den Magnetpolen $S\,N$ andererseits. Zu diesen zwei Stromsystemen gesellt sich dann noch ein dritter Inductionsstrom, welcher aus der directen Bewegung der Drahtspule durch das magnetische Feld des Poles S entsteht und der auch entstehen würde, wenn der innere metallische Ring fehlte oder aus einem andern Material als Eisen bestände. Wenn der Kopf B den Pol S verlässt, verliert er seinen Magnetismus wieder und es entsteht mit dem Entweichen des Magnetismus in der Drahtspule ein

Fig. 70.



Ring der Maschine von de Méritens.

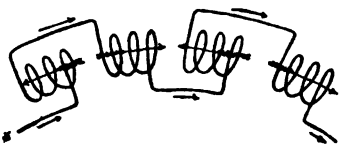
Strom, demjenigen entgegengesetzt, welcher bei der vorgängigen Annäherung von B an S entstand. Ebenso wiederholen sich die anderen Vorgänge im entgegengesetzten Sinne, wobei es sich von selbst versteht, dass das, was von einem Theile des Ringes gilt, gleichzeitig auch für die übrigen Theile gelten muss.

Die Drahtwindungen haben auf allen einzelnen Ring-

Digitized by Google

stücken die gleiche Richtung; da diese Stücke abwechselnd vor ungleichnamigen Magnetpolen vorbeirotiren, entstehen in ihnen Ströme von abwechselnd umgekehrter Richtung. Um aber im ganzen Ringe überall gleichgerichtete Ströme zu erhalten, ist, wie Fig. 71 zeigt, das äussere Drahtende

Fig. 71.



Schaltung des Inductors in der Maschine von de Méritens.

der einen Spule mit dem äussern Drahtende der nächstfolgenden Spule, und ebenso das innere Drahtende der ersteren Spule mit dem innern Ende der letzteren Spule zusammenverbunden, so dass die in den einzelnen Ringstücken erzeugten Wechselströme den ganzen Ring in ein und derselben Richtung durchliessen. Die beiden Enden des gesammten Drahtes, welche als die Pole der Maschine zu betrachten sind, werden an zwei Kupferringen befestigt, welche von einander und von der Achse des Inductorrades isolirt auf dieser Achse fest aufsitzen. Auf diesen Ringen schleifen zwei kupferne Federn, welche die alternirenden Ströme des Inductors aufnehmen und zu zwei Klemmen führen, von wo aus die Leitung nach aussen abgeht.

Die wesentlichen Vorzüge der Maschine von *de Méritens* bestehen theils darin, dass die einzelnen Stücke des Ringes ganz von einander getrennt sind und die Umwickelung ihrer Kerne gar keine Schwierigkeiten macht, wogegen sowohl bei den *Siemens*'schen als auch bei den *Gramme*'schen magnet-elektrischen Maschinen[1]) die Bewickelung der Trommel resp. des Ringes mit sehr grossen Schwierigkeiten verbunden ist,

1) Siehe Abtheilung V.

Digitized by Google

theils auch darin, dass die Maschine weder Commutator noch Stromsammler hat. Uebrigens lässt sich die Verbindung der Drahtspulen unter einander auch so herstellen, dass die einzelnen Spulen je nach der Art der Verwendung beliebig hintereinander oder nebeneinander geschaltet werden können.

Nach vielen Angaben scheint es, dass unter allen magnet-elektrischen Maschinen mit Stahlmagneten die Maschine von *de Méritens* für einen gegebenen Kraftaufwand den grössten Lichteffect gibt. In der That unterhalten diese Maschinen bei einem Kraftaufwande von nicht mehr als einer Pferdestärke und bei nur 700 Touren in der Minute das Licht von drei *Jablochkoff*'schen Kerzen in ununterbrochener Thätigkeit, ohne sich merklich zu erhitzen; doch scheint die Lichtstärke jeder dieser Kerzen weniger intensiv zu sein, als bei Anwendung der *Siemens*'schen oder der *Gramme*'schen Maschinen. Mit den grösseren Lichtmaschinen dieser beiden letzteren Systeme kann die Maschine *de Méritens* den Vergleich keinenfalls aushalten, während sie für kleinere Stromwirkungen, also zu Laboratoriumszwecken, für physikalische Cabinette, Theater-Effecte u. s. w. durchaus vortheilhaft erscheint.

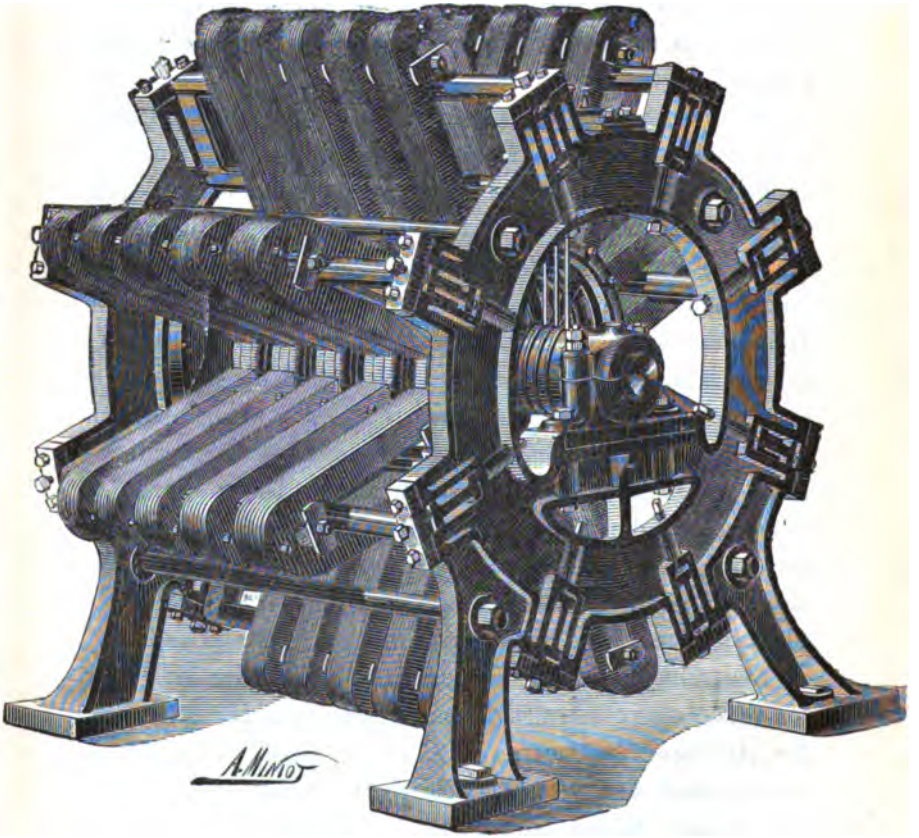
Neuerdings ist auch ein grösseres Modell der Maschine von *de Méritens* construirt worden, welches dem Aeussern nach der *Alliance*-Maschine (s. S. 99) sehr gleicht, von dieser jedoch durch den vorhin beschriebenen Inductor abweicht. Das grössere Modell ist von der englischen Regierung zum Gebrauche auf Leuchtthürmen adoptirt worden und in Figur 72 (s. f. S.) abgebildet.

Diese Maschine besteht im Grossen und Ganzen aus fünf nebeneinander gestellten einfachen Maschinen. Die Hauptwelle trägt fünf Radkränze mit Inductorringen. An der Peripherie eines jeden dieser Ringe sind aus je acht Lamellen zusammengesetzte Stahlmagnete angebracht, welche aber wegen der Platzfrage nicht wie bei der ein-

Digitized by Google

fachen Maschine horizontal, sondern vertical gestellt sind. Dadurch erhält die ganze Maschine das Aussehen der *Alliance-*

Fig. 72.



Die neue Maschine von de Méritens (grosses Modell).

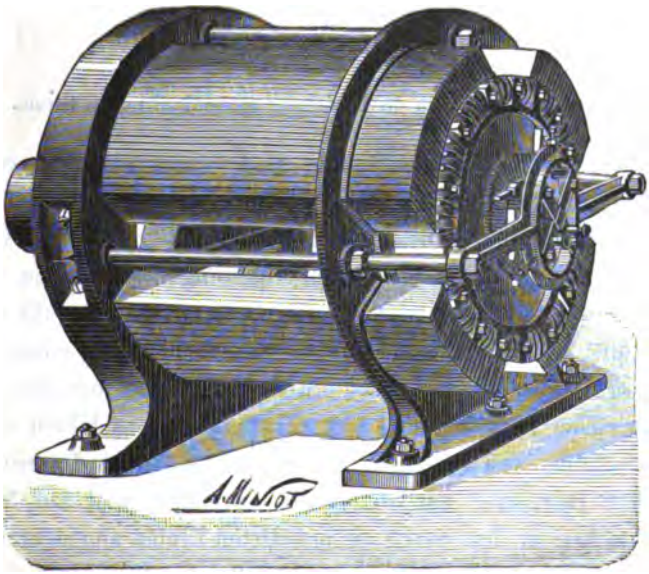
Maschine, von der sie sich aber durch den ganz anders und viel vortheilhafter construirten Inductor unterscheidet. Sie kann zwei getrennte Stromkreise speisen. Auf der Welle sitzen vier von einander isolirte Kupferringe, gegen welche Contactfedern schleifen, die den Strom zu den Lampen abführen, wie es in der Figur sichtbar ist. Man kann

Digitized by Google

nun je nach Bedürfniss die Enden der fünf Inductorringe mit diesen Contactringen passend verbinden und dadurch die nöthige Stromstärke erzielen. Das Gewicht ihrer 40 Magnete beträgt 1080 kg und die Tragfähigkeit derselben 8000 kg. Mit acht Pferdestärken betrieben liefert sie bei 790 Touren in der Minute mit einer Regulatorlampe von *Serrin* einen elektrischen Lichtbogen von 636 Carcels und ist bei voller Ausnutzung im Stande, 30 *Jablochkoff*-Kerzen zu unterhalten. Diese Maschinen werden für die Leuchtthürme besonders in Frankreich und England fast allgemein ihres sichern und einfachen Betriebes wegen benutzt.

De Méritens hat auch eine magnet-elektrische Maschine für continuirlichen Strom construirt, welche in Fig. 73 abgebildet ist. Die Zahl der magnetischen Felder ist auf vier reducirt, wie schematisch in Fig. 70 angedeutet ist. Die

Fig. 73.

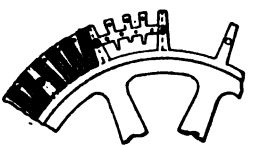


Maschine von de Méritens für continuirlichen Strom.

Digitized by Google

magnetischen Felder werden von vier Magneten erzeugt, welche aus je 64 Stahllamellen von 1 mm Dicke bestehen und welche der Länge nach auf den beiden Kränzen eines bronzenen Gestelles festgeschraubt sind. Sie springen auf der vorderen Seite vor und bilden mit ihren inneren Flächen Theile eines Cylinders, in welchem der Inductor rotirt. Dieser ist auf folgende Weise construirt. Auf einem Rade von Bronze sitzen 16 lange Zähne, und zwischen diesen Zähnen sind die Inductorrollen befestigt. Dieselben sind auf Eisenlamellen gewickelt, welche drei Vorsprünge tragen, wodurch vier Einschnitte entstehen. Diese Einschnitte werden durch den Draht ausgefüllt und es entstehen so auf dem ganzen Rade 64 Abtheilungen von Drahtwindungen. Fig. 74 gibt eine deutliche Vorstellung von dieser Wicklung.

Fig. 74.



Ring der Maschine von de Méritens für continuirlichen Strom.

Alle 64 so entstehende Spulen sind hinter einander verbunden, und zwischen je zwei Spulen führt eine Ableitung zum Commutator. Dieser besteht aus 64 Lamellen, von denen jede mit einer der obigen Ableitungen verbunden ist.

Aus den Betrachtungen, welche wir an die Fig. 69 angeknüpft haben, ersieht man, dass in je zwei einander diametral gegenüberstehenden Puncten des Inductors Ströme von gleicher Richtung und Grösse entstehen; es bilden sich vier Systeme von Strömen, welche ihre maximale Intensität bei der Bewegung vor den Polen erreichen und auf Null herabsinken in den durch die punctirten Linien angedeuteten neutralen Zonen, woselbst sie ihre Richtung ändern. An diese vier Puncte werden Bürsten angelegt, um den Strom

Digitized by Google

nach aussen zu führen, gerade so wie beim Ring von *Gramme*. Man erhält aber hier nicht einen continuirlichen Strom, sondern deren zwei, welche man beliebig gruppiren kann. Maschinen dieser Art werden besonders empfohlen zum Laden der Accumulatoren und zu elektrolytischen Zwecken, da der Strom sehr constant bleibt und eine Umkehrung der Stromrichtung nicht möglich ist, wie bei den dynamo-elektrischen Maschinen, zu deren Betrachtung wir jetzt übergehen.

Digitized by Google

IV. Abtheilung.

Die dynamo-elektrischen Maschinen.

34. Das Siemens'sche Princip der dynamo-elektrischen Maschinen. — Priorität zu Gunsten von Siemens gegen Wheatstone.[1]) Auf der Pariser Ausstellung vom Jahre 1867 befand sich in der englischen Abtheilung der Maschinen-Gallerie eine Maschine, welche die Ueberschrift trug: „*Dynamo-Magneto-Machine*, New Principle of Conversion of Dynamic Force, by *W. Ladd*". Die Maschine wurde durch die über ihr weglaufende allgemeine Transmission der Maschinen-Gallerie in Bewegung gesetzt, und erzeugte bei der Rotation zweier Cylinder ein blendendes elektrisches Kohlenlicht ohne Anwendung einer galvanischen Batterie, und ohne dass während des Zustandes der Ruhe irgend welche magnetische Kraft in ihr wahrgenommen wurde. Die Maschine erregte daher grosses Aufsehen und war fast immer von zahlreichen Bewunderern umlagert, die sich durch gegenseitiges Befragen bemühten, das New Principle der Maschine aufzufinden und zu verstehen. Der Mann von Fach suchte darin freilich dieses neue Princip der Umwandlung von mechanischer Kraft nicht, weil es ihm an dieser Maschine nicht mehr neu war, und er recht wohl wusste,

1) *Schellen*, Die dynamo-elektrischen Maschinen. Carl's Repertorium der Physik, Bd. IV, S. 65.

Digitized by Google

dass in der preussischen Abtheilung der Maschinen-Gallerie eine kleinere, aber nach demselben Princip gebaute und praktisch zum Zünden von Minen eingerichtete Maschine von *Siemens & Halske* in Berlin ausgestellt war, welche von Hand in Bewegung gesetzt, zwar immer noch starke, aber im Verhältniss zu der mehrere Pferdekräfte beanspruchenden *Ladd*'schen Maschine schwächere Funken gab, welche aber, wie diese, nach denjenigen Principien construirt war, die *Dr. W. Siemens* bereits im Januar 1867 der Berliner Akademie mitgetheilt hatte.

Welchen Antheil *Ladd* an der Ausbildung der dynamo-elektrischen, oder wie sie auch wohl genannt werden, der Dynamo-Magnet-Maschinen (einfach Dynamo) hat, wird sich weiter unten ergeben; wir müssen aber schon hier erklären, dass sich seine Ansprüche in keiner Weise auf die theoretischen Principien beziehen, welche diesen Maschinen zur Grundlage dienen, sondern nur die äussere Einrichtung und die Disposition einzelner Theile betreffen.

Nachdem *Siemens* bereits im December 1866 vor mehreren Berliner Physikern mit einer nach dem neuen Princip gebauten eincylindrigen Maschine, die keine Stahlmagnete besass, experimentirt hatte, kam seine Mittheilung, die er an die Berliner Akademie der Wissenschaften gerichtet hatte, Mitte Januar 1867 vor diesem Institute zur Verhandlung. Da der Inhalt dieses Vortrages für die Feststellung der Priorität hinsichtlich des Princips und der Construction der dynamo-elektrischen Maschinen entscheidend ist, und sich dieses Princip selbst in demselben klar und bestimmt ausspricht, so lassen wir denselben, wie er als vorläufige Anzeige unter der sehr bezeichnenden Ueberschrift: „Ueber die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete von *W. Siemens*“ in dem Februarheft von Poggendorff's Annalen (1867) abgedruckt ist, hier folgen:

Digitized by Google

„Wenn man zwei parallele Drähte, welche Theile des Schliessungskreises einer galvanischen Kette bilden, einander nähert oder entfernt, so beobachtet man eine Schwächung oder eine Verstärkung des Stromes der Kette, je nachdem die Bewegung im Sinne der Kräfte, welche die Ströme aufeinander ausüben, oder im entgegengesetzten statt findet. Dieselbe Erscheinung tritt in verstärktem Maasse ein, wenn man die Polenden zweier Elektromagnete, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden, einander nähert oder von einander entfernt. Wird die Richtung des Stromes in dem einen Drahte im Augenblick der grössten Annäherung und Entfernung umgekehrt, wie es bei elektrodynamischen Rotationsapparaten der elektromagnetischen Maschinen auf mechanischem Wege ausgeführt wird, so tritt eine dauernde Verminderung der Stromstärke der Kette ein, sobald der Apparat sich in Bewegung setzt. Diese Schwächung des Stromes der Kette durch Gegenströme, welche durch die Bewegung im Sinne der bewegenden Kräfte erzeugt werden, ist so bedeutend, dass sie den Grund bildet, warum elektromagnetische Kraftmaschinen nicht mit Erfolg durch galvanische Ketten betrieben werden können. Wird dagegen eine solche Maschine durch eine äussere Arbeitskraft im entgegengesetzten Sinne gedreht, so muss der Strom der Kette durch die jetzt ihm gleichgerichteten inducirten Ströme verstärkt werden. Da diese Verstärkung des Stromes auch eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagnets, mithin auch eine Verstärkung des folgenden inducirten Stromes hervorbringt, so wächst der Strom der Kette in rascher Progression bis zu einer solchen Höhe, dass man letztere selbst ganz ausschalten kann, ohne eine Verminderung des Stromes wahrzunehmen. Unterbricht man die Drehung, so verschwindet natürlich auch der Strom, und der feststehende Elektromagnet verliert seinen Magnetismus.

„Der geringe Grad von Magnetismus, welcher

Digitized by Google

auch im weichsten Eisen stets zurückbleibt, genügt aber, um bei wieder eintretender Drehung das progressive Anwachsen des Stromes im Schliessungskreise von Neuem einzuleiten. Es bedarf daher nur eines einmaligen kurzen Stromes einer Kette durch die Windungen des festen Elektromagnets, um den Apparat für alle Zeit leistungsfähig zu machen.

„Die Richtung des Stromes, welchen der Apparat erzeugt, ist von der Polarität des zurückbleibenden Magnetismus abhängig. Aendert man dieselbe vermittelst eines kurzen entgegengesetzten Stromes durch die Windungen des festen Magnets, so genügt dieses, um auch allen später durch Rotation erzeugten mächtigen Strömen die umgekehrte Richtung zu geben.

„Die beschriebene Wirkung muss zwar bei jeder elektromagnetischen Maschine eintreten, die auf Anziehung und Abstossung von Elektromagneten begründet ist, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden; es bedarf aber doch besonderer Rücksichten zur Herstellung von elektrodynamischen Inductoren von grosser Wirkung. Der von den commutirten, gleichgerichteten Strömen umkreiste feststehende Magnet muss eine hinreichende magnetische Trägheit haben, um auch während der Stromwechsel den in ihm erzeugten höchsten Grad des Magnetismus ungeschwächt beizubehalten, und die sich gegenüberstehenden Polflächen der beiden Magnete müssen so beschaffen sein, dass der feststehende Magnet stets durch benachbartes Eisen geschlossen bleibt, während der bewegliche sich dreht. Diese Bedingungen werden am besten durch die von mir vor längerer Zeit in Vorschlag gebrachte und seitdem von mir und Anderen vielfältig benutzte Anordnung der Magnet-Inductoren erfüllt. Der rotirende Elektromagnet besteht bei denselben aus einem um seine Achse rotirenden Eisencylinder, welcher mit zwei

Digitized by Google

gegenüberstehenden, der Achse parallel laufenden Einschnitten versehen ist, die den isolirten Umwindungsdraht aufnehmen. Die Polenden einer grösseren Zahl von Stahlmagneten oder im vorliegenden Falle die Polenden des feststehenden Elektromagnets umfassen die Peripherie dieses Eisencylinders in seiner ganzen Länge mit möglichst geringem Zwischenraume. (§. 29.)

„Mit Hülfe einer derartig eingerichteten Maschine kann man, wenn die Verhältnisse der einzelnen Theile richtig bestimmt sind und der Commutator richtig eingestellt ist, bei hinreichend schneller Drehung in geschlossenen Leitungskreisen von geringem unwesentlichem Widerstande Ströme von solcher Stärke erzeugen, dass die Umwindungsdrähte der Elektromagnete durch sie in kurzer Zeit bis zu einer Temperatur erwärmt werden, bei welcher die Umspinnung derselben verkohlt. Bei anhaltender Benutzung der Maschine muss diese Gefahr durch Einschaltung von Widerständen oder durch Mässigung der Drehungsgeschwindigkeit vermieden werden.

„Während die Leistung der magnet-elektrischen Inductoren nicht in gleichem Verhältnisse mit der Vergrösserung ihrer Dimensionen zunimmt, findet bei der beschriebenen das umgekehrte Verhältniss statt. Es hat dies darin seinen Grund, dass die Kraft der Stahlmagnete in weit geringerem Verhältnisse zunimmt, als die Masse des zu ihrer Herstellung verwendeten Stahles, und dass sich die magnetische Kraft einer grossen Anzahl kleiner Stahlmagnete nicht auf eine kleine Polfläche concentriren lässt, ohne die Wirkung sämmtlicher Magnete bedeutend zu schwächen oder sie zum Theil ganz zu entmagnetisiren. Magnet-Inductoren mit Stahlmagneten sind daher nicht geeignet, wo es sich um Erzeugung sehr starker andauernder Ströme handelt. Man hat es zwar schon mehrfach versucht, solche kräftige magnet-elektrische Inductoren herzustellen und auch so kräftige

Digitized by Google

Ströme mit ihnen erzeugt, dass sie ein intensives elektrisches Licht gaben, doch mussten diese Maschinen sehr grosse Dimensionen erhalten, wodurch sie sehr kostbar wurden. (Die *Alliance-* und *Wilde*'schen Maschinen.) Die Stahlmagnete verloren bald den grössten Theil ihres Magnetismus und die Maschine ihre anfängliche Kraft.

„Neuerdings hat der Mechaniker *Wilde* in Birmingham die Leistungsfähigkeit der magnet-elektrischen Maschinen dadurch wesentlich erhöht, dass er zwei Magnet-Inductoren meiner oben beschriebenen Construction zu einer Maschine combinirte. Den einen grössern dieser Inductoren versieht er mit einem Elektromagnet an Stelle der Stahlmagnete und verwendet den andern zur dauernden Magnetisirung dieses Elektromagnets. Da der Elektromagnet kräftiger wird als die Stahlmagnete, welche er ersetzt, so muss auch der erzeugte Strom durch diese Combination in mindestens gleichem Maasse verstärkt werden.

„Es lässt sich leicht erkennen, dass *Wilde* durch diese Combination die geschilderten Mängel der Stahlmagnet-Inductoren wesentlich vermindert hat. Abgesehen von der Unbequemlichkeit der gleichzeitigen Verwendung zweier Inductoren zur Erzeugung eines Stromes, bleibt sein Apparat doch immer abhängig von der unzuverlässigen Leistung der Stahlmagnete.

„Der Technik sind gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist. Diese Thatsache wird auf mehreren Gebieten derselben von wesentlicher Bedeutung werden."

So der Vortrag von *W. Siemens*. Nicht bloss die Principien der neuen Maschine, welche die Umwandlung der Arbeit in Elektricität zum Zwecke hat, liegen in demselben klar ausgesprochen, es sind auch die wesentlichen

Digitized by Google

Bedingungen, unter denen die Construction derselben ausgeführt werden muss, mit völliger Bestimmtheit angezeigt.

Auf Veranlassung des *Dr. W. Siemens* in Berlin liess sein Bruder *William Siemens* in London eine kleine dynamo-elektrische Maschine anfertigen und kündigte darüber der *Royal Society* daselbst unter dem Titel: „*On the Conversion of Dynamical into Elektrical Force, without the aid of permanent Magnetism*" auf den 14. Februar 1867 einen Vortrag an. Die Anmeldung derartiger Vorträge geschieht 14 Tage vorher per Circular.

Nach erfolgter Ankündigung dieses Vortrages kündigte Professor *Wheatstone* für dieselbe Sitzung einen Vortrag an unter dem Titel: „*On the Augmentation of the Power of a Magnet by the Rotation thereon of Currents induced by the Magnet itself.*"

In der Sitzung der *Royal Society* vom 14. Februar kam daher *Wheatstone* mit seinem Vortrage dicht hinter *Siemens* und es zeigte sich dabei, dass beide Physiker in ihren Vorträgen ziemlich dieselben Thatsachen, Grundsätze und Folgerungen behandelten. Der Vortrag von *Wheatstone* lautete folgendermaassen:

„Die bisher beschriebenen magnet-elektrischen Maschinen werden in Gang gesetzt durch permanente Magnete oder durch Elektromagnete, welche ihre Kraft von irgend einem in ihren Drahtwindungen eingeschalteten Rheomotor erhalten. In dieser Abhandlung beabsichtige ich nun zu zeigen, dass ein Elektromagnet, wenn man ihm nur vorher die geringste Polarität ertheilt hat, die stärkste magnetische Kraft annehmen kann, wenn man ihm gestattet, inducirte Ströme zu erzeugen, die dann wieder auf ihn zurückwirken. Ich gebe zu dem Ende die Beschreibung des Elektromagnets, mit welchem ich die Versuche gemacht habe; seine Construction stimmt mit dem elektromagnetischen Theile der *Wilde*'schen Maschine sehr nahe überein.

Digitized by Google

„Der Kern des Elektromagnets besteht aus einer im Ganzen 15 Zoll (engl.) langen, hufeisenförmig gebogenen und 1/2 Zoll breiten Lamelle von weichem Eisen. Jeder 7 1/2 Zoll lange Schenkel ist mit einem Kupferdrahte von 640 Fuss Länge und 1/2 Zoll Dicke umwickelt.

„Die Armatur besteht nach der sinnreichen Einrichtung von *Siemens* aus einem rotirenden Cylinder von weichem Eisen, 8 1/2 Zoll im Durchmesser, auf welchem 80 Fuss Kupferdraht von derselben Sorte, wie sie der Elektromagnet hat, in der Richtung der Längenachse aufgewickelt sind.

„Wenn man nun in die Drahtwindungen des Elektromagnets irgend eine Stromquelle einschaltet, welche einen Strom von unveränderter Richtung liefert, so entstehen bei der Rotation des Cylinders (der Armatur) in dem ihn umgebenden Drahte bei jeder halben Umdrehung Ströme von entgegengesetzter Richtung, welche entweder als entgegengesetzte oder als gleichgerichtete Ströme weiter geführt werden können, je nachdem man einen Commutator anwendet oder nicht.

„Bleibt der Cylinder in Rotation und sein Stromkreis geschlossen, und man entfernt dann aus dem Stromkreise des Elektromagnets die erregende Stromquelle, so findet man mittelst eines eingeschalteten Galvanometers, dass die Inductionsströme des Cylinders schwach sind; sie nehmen zwar in demselben Maasse zu, als der durch das weggenommene Element erzeugte und in dem Elektromagnet zurückgebliebene Magnetismus grösser ist, aber sie erreichen niemals eine erhebliche Stärke.

„Ganz anders aber stellt sich die Sache, wenn man die Enden der beiden Drahtwindungen zu einer einzigen continuirlichen Drahtleitung derart vereinigt, dass die Inductionsströme des rotirenden Cylinders vermittelst eines diese Ströme gleichrichtenden Commutators in die Spirale des Elektromagnets geleitet werden. Geschah dieses in der Art,

Digitized by Google

dass durch die Ströme der Armatur die permanente Polarität des Elektromagnets verstärkt wurde, so erforderte die Drehung der Armatur eine weit grössere Kraft als vorher, und der in dem Drahtgewinde auftretende Strom, dessen Stärke an einem Galvanometer gemessen werden konnte, erreichte eine solche Intensität, dass ein Platindraht von vier Zoll Länge und einer Linie Dicke glühend, ein grosser Elektromagnet stark magnetisch und das Wasser zersetzt wurde.

„Diese Erscheinungen können auf folgende Weise erklärt werden: Der Elektromagnet behält stets einen geringen Grad von permanentem Magnetismus und verhält sich daher wie ein schwacher Stahlmagnet. Bei der Drehung der Armatur entstehen daher in ihrem Drahtgewinde schwache Inductionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung. Indem diese Ströme durch den Commutator gleiche Richtung erhalten und in dem vorher bezeichneten Sinne durch die Drahtwindungen des Elektromagnets circuliren, verstärken sie den Magnetismus der Eisenkerne. Die so verstärkten Pole des Elektromagnets wirken dann ihrerseits wieder auf die Armatur und erzeugen in dem Drahtgewinde dieser letzteren Ströme von grösserer Intensität als anfänglich. Diese gegenseitige Verstärkung der Inductionsströme und des Elektromagnets dauert so lange, bis in dem Elektromagnet ein Maximum der magnetischen Kraft eingetreten ist, welches von der magnetischen Capacität seiner Eisenmasse und der Geschwindigkeit der Rotation abhängig ist.

„Wenn man dagegen die Enden der beiden Drahtgewinde derart verbindet, dass die durch die Windungen des Elektromagnets gehenden Inductionsströme der Armatur in jenen eine magnetische Polarität hervorrufen, welche der des permanenten Magnetismus entgegengesetzt ist, so entstehen keine Inductionsströme und daher auch keine Verstärkung des Magnetismus in dem Elektromagnet.“

Digitized by Google

Wheatstone führte dann näher aus, wie diese Erklärung experimentell nachgewiesen werden kann, und verbreitete sich noch über die Art und Weise, wie die Wirkungen einer solchen Maschine sich noch verstärken lassen, wenn man den aus dem rotirenden Cylinder austretenden Strom derart verzweigt, dass nur ein kleiner Theil desselben durch das Drahtgewinde des Elektromagnets, der übrige Theil aber durch einen eingeschalteten Nebendraht geht.

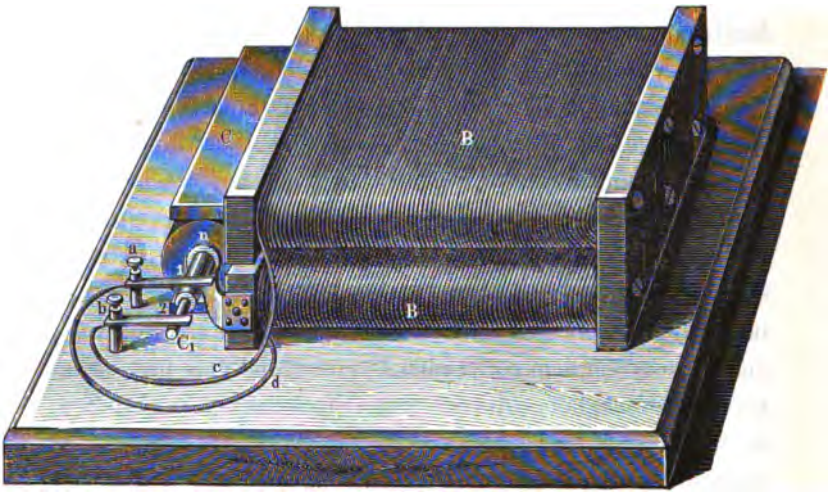
Eine Vergleichung der beiden angeführten Vorträge zeigt klar, dass sich die dynamo-elektrische Maschine *Wheatstone's* nicht wesentlich von der *Siemens*'schen unterscheidet, wie denn überhaupt der Vortrag *Wheatstone's* nur solche Facta enthält, welche bereits sechs Wochen früher von *Siemens* publicirt und experimentell öffentlich nachgewiesen waren. Wenn es als ein Novum erscheinen könnte, was *Wheatstone* am Schlusse seines Vortrags sagt, dass in einer Zweigleitung zwischen dem rotirenden Cylinder und dem feststehenden Elektromagnet stärkere Glüh-Erscheinungen anhielten, so lag das einfach daran, dass er das Verhältniss der Widerstände der Umwindungen in dem festen und dem beweglichen Magnet sehr ungleich gemacht hatte, während es für das Maximum der Wirkung gleich gross sein muss.

35. Die Siemens'sche dynamo-elektrische Maschine. Die Einrichtung und Wirkung einer nach der Construction von *Siemens* gebauten dynamo-elektrischen Maschine einfachster Art ist aus der Figur 75 leicht zu verstehen. *B B* sind flache Kerne von weichem Eisen von etwa 60 cm Länge, 50 cm Breite und 10 cm Dicke, welche etwa 8 cm von einander abstehen und je einzeln mit einem gegen 27 m langen, dicken und gut isolirten Kupferdrahte umwickelt sind. Die beiden hinteren Enden sind durch eine gemeinsame Eisenplatte zu einem Elektromagnet verbunden, während die beiden vorderen Enden *C C* plattenförmig aus den Drahtwindungen hervorragen, kreissegmentförmig ausgeschnitten

Digitized by Google

sind und einen *Siemens*'schen Cylinder-Inductor *n* zwischen sich aufnehmen. Die Enden dieser Inductorspirale sind wie gewöhnlich einerseits mit der Cylinderachse, andererseits mit einem isolirt auf dieser Achse sitzenden Kupferringe fest verbunden, und bleiben daher bei der Rotation dieses

Fig. 75.



Die Siemens'sche dynamo-elektrische Maschine.

Inductors vermittelst der Schleiffedern *1*, *2* stets in leitender Verbindung mit den seitlichen Klemmen *a* und *b*. Da nun letztere in fester Verbindung mit den Enden *d*, *c* der Drahtwindungen des Elektromagnets *B B* stehen, so ist klar, dass die in dem Cylinder-Inductor *n* auftretenden Inductionsströme ihren Weg über *1*, *a*, *d*, *B*, *B*, *c*, *b*, *2* durch die Drahtwindungen des Elektromagnets *B B* nehmen und dessen Magnetismus verstärken müssen.

Die Vorrichtung zur Drehung des Cylinders *n* und der Commutator zur Gleichrichtung der Ströme sind in der Zeichnung weggelassen.

Um die Maschine werkthätig zu machen, ist nur erfor-

Digitized by Google

derlich, den Elektromagnet-Schenkeln *B B* einmal eine schwache magnetische Polarität zu geben, was am besten dadurch geschieht, dass man vor ihrem ersten Gebrauche den Strom eines galvanischen Elements durch ihre Windungen gehen lässt. Bei der Unterbrechung dieses Stromes bleibt dann so viel (remanenter) Magnetismus in den Eisenschenkeln zurück, als zu jedem spätern Ingangsetzen der Maschine erforderlich ist.

Sobald nun der Cylinder *n* in Rotation versetzt wird, entstehen in Folge der schwachen magnetischen Polarität der Eisenplatten *C C* zuerst ganz schwache Inductionsströme in der Drahtspule dieses Cylinders. Indem jedoch diese Ströme über *a d* und *b c* durch die Windungen des dicken Drahtes um die Schenkel *B B* circuliren, verstärken sie den Magnetismus der Pole *C C* mit jedem neuen Impulse immer mehr, während andererseits eben diese Verstärkung des Magnetismus die fortwährende Verstärkung der Inductionsströme in *n* zur Folge hat. Auf diese Weise wächst die Kraft der Pole *C C* sehr rasch in demselben Maasse, als die Geschwindigkeit der Rotation des Cylinders zunimmt, und zwar bis zu derjenigen Grenze, bei welcher die Eisenschenkel *B B* das Maximum der magnetischen Kraft erlangt haben, dessen sie überhaupt fähig sind.

Dass die Möglichkeit der zunehmenden Verstärkung des Magnetismus in den Eisenplatten der molekularen Trägheit eben dieser Eisenmasse zuzuschreiben ist, haben wir schon früher erwähnt; ebenso dass die Intensität der erzeugten Ströme durch die Masse des verwendeten Eisens und Kupferdrahtes und die zur Drehung des Cylinders aufgewandte Arbeit bestimmt wird.

Eben weil das Princip dieser Maschine in der Umwandlung oder Umsetzung der mechanischen Arbeit in Magnetismus oder auch in elektrischen Strom beruht, hat dieselbe den Namen der dynamo-elek-

Digitized by Google

trischen oder auch wohl der dynamo-magnetischen Maschine erhalten.

36. Siemens-Halske's dynamo-elektrischer Läute-Inductor und Minenzünder. Wenn man in der vorher beschriebenen dynamo-elektrischen Maschine, nachdem durch den Aufwand der mechanischen Arbeit bei der Drehung des Cylinders der Magnetismus der Eisenkerne und dadurch wieder die Inductionsströme in den Drahtumwindungen hinreichend gestärkt worden sind, die Drahtleitung an irgend einer Stelle unterbricht, so erhält man einen kräftigen Funken, der zur Zündung von Minen sehr geeignet ist. Ebenso kann man zuerst die Intensität des Magnetismus in den Eisenplatten auf eine gewisse Höhe bringen, indem man die Inductionsströme bloss zur Verstärkung des Magnetismus dieser Eisenschenkel verwendet, und erst dann, wenn das Maximum des Magnetismus erreicht ist, plötzlich den Strom in eine telegraphische Leitung führen; die grosse Intensität des dann auftretenden Inductionsstromes macht denselben zur Auslösung von Läutewerken und anderen Signal-Apparaten besonders geeignet.

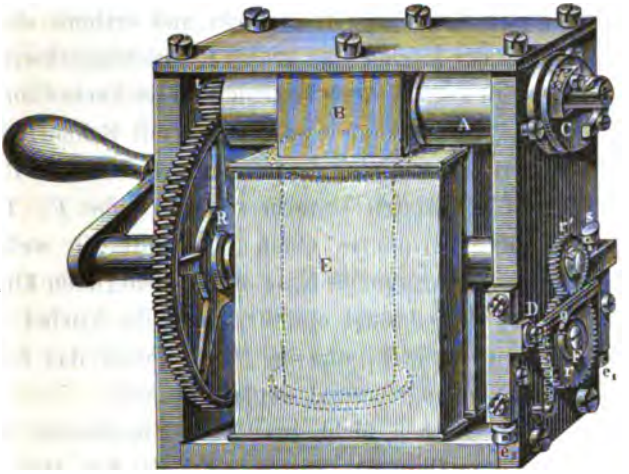
Zu einem solchen Zwecke war die erste eincylindrige dynamo-elektrische Maschine von *Siemens* gebaut, mit welcher er bereits im December 1866 vor mehreren Gelehrten öffentlich experimentirte und die später als wissenschaftliches Novum auf der Pariser Welt-Ausstellung erschien.

Aus den Figuren 76 und 77 ist die Anordnung der einzelnen Theile der Maschine zu ersehen. E ist der Elektromagnet, dessen beide nach oben hervorragende Pole B B halbkreisförmig ausgeschnitten sind und dadurch eine Art Büchse bilden, in welcher der gewöhnliche *Siemens*'sche Cylinder-Inductor frei rotiren kann. Die beiden Polenden des feststehenden Elektromagnets E umfassen die Peripherie dieses Cylinders auf einem grossen Theile seiner Länge mit möglichst wenig Zwischenraum. In Fig. 77 ist der rotirende

Digitized by Google

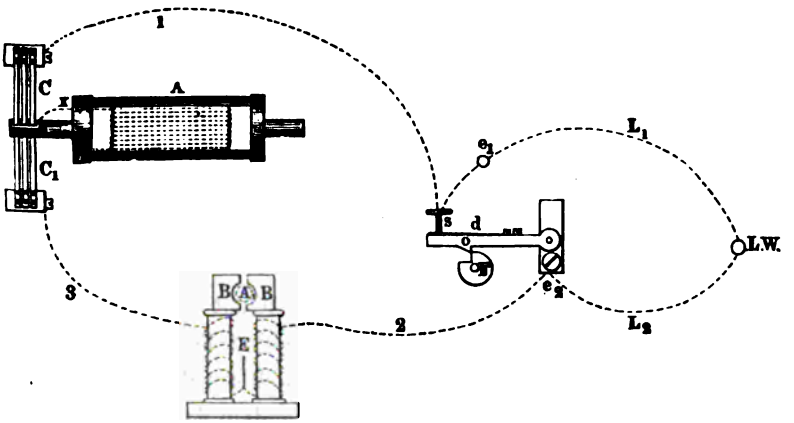
Cylinder unten in seiner wirklichen Lage zwischen den Magnetpolen *B B* (in der Vorderansicht) und darüber derselbe Cylinder in *A* (in der Oberansicht) noch einmal dar-

Fig. 76.



Siemens-Halske's dynamo-elektrischer Läute-Inductor und Minenzünder.

Fig. 77.



Stromlauf im Läute-Inductor.

gestellt, um die Verbindung der Enden *x y* seines Drahtgewindes mit dem Commutator *C* C_1 und weiter mit dem

Digitized by Google

Elektromagnet E und der Unterbrechungs-Vorrichtung leichter erkennen zu können.

Mittelst einer von der Hand bewegten Kurbel werden die beiden Räder R und r' in Umdrehung versetzt. R greift in den Stahltrieb t des Inductors A ein und ertheilt diesem bei der Drehung der Kurbel eine grosse Rotationsgeschwindigkeit; C ist der in Fig. 77 noch besonders gezeichnete Commutator von der gewöhnlichen Construction mit Schleiffedern.

Das Rad r' dreht zugleich das darunter befindliche Rad r mit der darauf befestigten Unterbrechungsscheibe F. Letztere hat in ihrer Peripherie einen Einschnitt, in welchen die nach unten vorspringende Nase o eines federnden Unterbrechungshebels D jedesmal einfällt, wenn die Kurbel oder das Rad r' sich zweimal, und in Folge davon das Rad r und die Scheibe F sich einmal umgedreht hat.

So lange die Nase o nicht in diesem Einschnitte liegt, gleitet sie auf dem Umfange der Scheibe F; der Hebel D (resp. d in Fig. 77) liegt dann hoch und seine Contactfeder berührt die Spitze der Contactschraube s; in diesem Falle findet der Strom über s und D kurzen Schluss und gelangt nicht in die längere Leitung L_1 L_2. Wenn aber, was immer nach zweimaliger Umdrehung der Kurbel geschieht, o in den Einschnitt von F einfällt, so ist die Leitung zwischen s und D (resp. d) unterbrochen, der kurze Stromschluss ist aufgehoben und der Strom muss dann die längere Leitung, deren Enden an den Klemmen e_1 und e_2 befestigt sind, durchlaufen.

Die Wirkung des Apparates ist nun leicht zu verfolgen. Bei dem ersten Ingangsetzen der Maschine lässt man den Strom eines Elements auf einen Augenblick durch die Drahtwindungen des Elektromagnets gehen; bei dem darauf folgenden Ausschalten dieses Elements bleibt dann für alle folgende Zeit so viel Magnetismus in den Polen B B zurück, als zu dem jedesmaligen Arbeiten der Maschine erforderlich ist;

Digitized by Google

eben so kann man den Polen durch einmaliges Annähern eines Stahlmagnets, ja sogar durch Vertheilung mittelst des Erdmagnetismus den erforderlichen Grad des Magnetismus ertheilen.

Bei der durch die Drehung der Kurbel erzeugten Rotation des Cylinders *A* entstehen dann in dem Drahtgewinde desselben inducirte Wechselströme, welche über *x y* zu dem Commutator *C* C_1 gelangen und, nachdem sie die gleiche Richtung erhalten haben, auf dem Wege *x*, *C*, *1*, *s d*, e_2, *2*, *E*, *3*, C_1, *y* die Windungen des Elektromagnets durchlaufen.

Der im Elektromagnet anfangs vorhandene remanente Magnetismus erzeugt bei der Rotation des Ankers zuerst nur schwache Ströme; indem diese aber den Elektromagnet umkreisen, verstärken sie den Magnetismus der Pole. Dadurch werden auch die Inductionsströme des Ankers stärker; diese reagiren wieder auf die Magnetpole, und so geht die Wechselwirkung von Magnetismus und Inductionsströmen immer weiter, bis der Elektromagnet gesättigt ist und nicht mehr verstärkt werden kann.

Der permanente kurze Kreislauf des Stromes hält durch die Contactschraube so lange an, bis die Kurbel zwei volle Umdrehungen gemacht hat und dadurch der Strom und der durch ihn erzeugte Magnetismus des feststehenden Elektromagnets zur vollen Entwicklung gekommen sind. Ist dieses geschehen, so wird dieser Contact durch das Einfallen der Nase *o* in den Einschnitt der Unterbrechungsscheibe *F* plötzlich unterbrochen und es entsteht in der jetzt eingeschalteten Leitung in der Richtung *x*, *C*, *1*, *s*, Leit. L_1, Läutewerk, Leit. L_2, e_2, *2*, *E*, *3*, C_1, *y* ein kurzer, aber sehr starker Strom, welcher durch den Ankeranzug des Elektromagnets im Läutewerke dieses auslöst und in Gang bringt. Bei fortgesetzter Drehung des Cylinder-Inductors *A* wird nach jeder weiteren Doppeldrehung der Kurbel ein neuer Unterbrechungs-

Digitized by Google

funken zwischen *s* und *d* gebildet; es lässt sich aber durch angemessene Abänderung oder Vermehrung der Einschnitte in *F* und der ineinander eingreifenden Räder leicht einrichten, dass bei jeder einmaligen Kurbelumdrehung je nach Bedürfniss ein oder mehrere Ströme durch das Läutewerk gesandt werden. Der Apparat ist von einem hölzernen Schutzkasten umgeben, welcher so eingerichtet ist, dass beim Gebrauche keine Theile entfernt zu werden brauchen.

Derselbe Apparat wird auch zum Minensprengen verwendet; die Zünder (z. B. *Abel*'sche Zünder) müssen dann mit einem leitenden Satze oder mit einer leitenden Graphitschicht versehen sein. Mehrere Minen werden mit Sicherheit gleichzeitig entzündet, wenn die Zünder so eingeschaltet werden, dass sie gleichzeitig und nicht nach einander vom Strome durchlaufen werden.

Die anfängliche Bewegung der Kurbel erfolgt sehr leicht; aber bald empfindet die Hand einen fortwährend zunehmenden Widerstand, der daher rührt, dass die Pole *B* des feststehenden Elektromagnets auf die inducirten Ströme des Inductors *A* und auf den durch diesen letztern magnetisirten eisernen Kern desselben eine mit der wachsenden Stärke der Pole ebenfalls wachsende Anziehung ausüben. Nur durch Ueberwindung dieses Widerstandes unter Aufwendung einer bestimmten Arbeitsgrösse wird die Wirkung und die Leistungsfähigkeit der Maschine erzielt; in demselben Maasse, wie die zur Umdrehung des Inductors erforderliche Arbeit aufgewendet wird, kommt an ihrer Stelle Magnetismus und galvanische Strömung (elektrische Energie) zum Vorschein.

Ausser dieser kleinen, mit der Hand zu bewegenden Maschine hatten *Siemens & Halske* noch eine grössere, viercylindrige Maschine ähnlicher Construction auf der Pariser Ausstellung ausgestellt, während eine andere grosse, zweicylindrige Maschine, deren Bau bereits im Januar 1867

Digitized by Google

begonnen worden war, nicht rechtzeitig fertig wurde, um zur Ausstellung gelangen zu können.

37. Ladd's zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine. Vier Wochen später als *Wheatstone*, und zwar erst am 14. März 1867, machte *William Ladd*, Inhaber einer sehr renommirten mechanischen und optischen Werkstätte in London, unter dem Titel: „*On a Magneto-electric Machine*" der *Royal Society* daselbst die folgende Mittheilung:

„Im Juni 1864 erhielt ich von *Wilde* eine kleine magnet-elektrische Maschine, die aus sechs Magneten und einer *Siemens*'schen Armatur bestand. Ich suchte dieselbe zu verbessern und eine billige Maschine herzustellen, um die *Abel*'schen Zünder zu entzünden. Ich erreichte dieses durch Anwendung von kreisförmigen Ausschnitten in den Magneten und einer zwischen den Magnetpolen sich drehenden Armatur; mit Hülfe einer solchen Vorrichtung war es möglich, einem Elektromagnet eine bedeutende Kraft zu geben u. s. w. Mein Gehülfe theilte mir später mit, dass die Kraft der Magnete erheblich verstärkt werde, wenn man der Armatur statt eines zwei Drahtgewinde gebe und den Strom des einen durch die diese Magnete umgebenden Drahtwindungen leite, wobei dann das andere Drahtgewinde einen starken Strom liefere, den man zu äusserer Arbeit verwenden könne. Man könnte aber auch zwei Armaturen anbringen, von denen die eine zur Vermehrung der magnetischen Kraft, die andere aber zum Zünden von Minen oder zu anderen Zwecken verwendet würde.

„Aus Mangel an Zeit konnte ich bis dahin diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen; nachdem jedoch die interessanten Abhandlungen von *Siemens* und von *Wheatstone* vorigen Monat veröffentlicht worden sind, habe ich diese Idee auf folgende Weise zur Ausführung gebracht.

„Zwei Platten von weichem Eisen, $7^1/_2$ Zoll (engl.) lang, $2^1/_2$ Zoll breit und $^1/_2$ Zoll dick, wurden um ihren mittlern

Digitized by Google

Theil einzeln mit ungefähr 30 Yards (à 0,914m) Kupferdraht von Nr. 10 umwickelt und an jedem Ende mit Schuhen von weichem Eisen derart versehen, dass, wenn sie übereinander gestellt wurden, zwischen diesen Schuhen ein Zwischenraum blieb, in welchem ein *Siemens*'scher Inductor rotiren konnte. Jede dieser Armaturen wurde mit ungefähr 10 Yards isolirten Kupferdrahtes Nr. 14 umwickelt. Die Enden des einen Inductordrahtes blieben in beständiger Verbindung mit den Drahtwindungen der beiden Elektromagnete, während der Strom der anderen Armatur vollständig frei war und zu irgend welchen Zwecken verwendet werden konnte. Obgleich die Maschine, in kleinen Dimensionen roh ausgeführt, nur dazu dienen soll, das Princip zu erläutern, so kann doch damit ein 3 Zoll langer Platindraht (0,01) glühend gemacht werden."

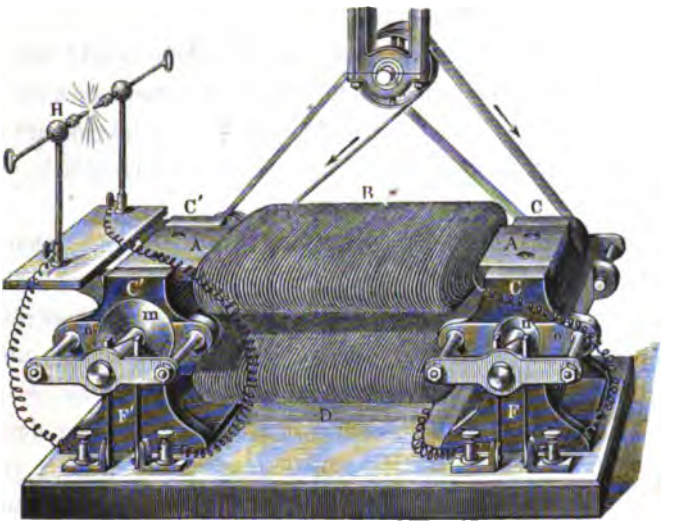
Ladd brachte seine Ausstellungsmaschine erst gegen Mitte Mai 1867 nach Paris, und er hat unbestreitbar das Verdienst, die erste zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine fertig gestellt zu haben; wie sein oben angeführter Bericht andeutet, erhebt er auch keine Ansprüche darauf, zu der Ausbildung des diesen Maschinen zu Grunde liegenden Princips etwas beigetragen zu haben.

In Fig. 78 ist die *Ladd*'sche Ausstellungsmaschine abgebildet. Zwei flache Kerne *B B* von weichem Eisen von etwa 60cm Länge, 50cm Breite und 10cm Dicke, welche ungefähr 8cm von einander abstehen, sind je einzeln mit einem gegen 27m langen, dicken und gut isolirten Kupferdrahte umwickelt. Die vier verstärkten Enden *A A* dieser Eisenplatten ragen zu beiden Seiten aus dem Drahtgewinde hervor und bilden die vier Pole zweier ganz von einander unabhängiger Elektromagnete, deren Polarität in Folge der Richtung der Drahtwindungen sich derart gestaltet, dass je zwei entgegengesetzte Pole sich gegenüber stehen. Von den vier Enden der Umwindungsdrähte sind zwei mit einander

Digitized by Google

verbunden, so dass beide Gewinde einen einzigen 54m langen Draht bilden. Zwischen diesen vier Polflächen werden zwei *Siemens*'sche Inductor-Cylinder *C C*, *C' C'* durch eine Dampfmaschine in sehr rasche Rotation versetzt, wobei wieder die schon mehrfach erwähnte Einrichtung getroffen ist, dass die Inductionsströme beider Cylinder in eine und dieselbe Richtung commutirt und von den Commutatoren *m n* aus vermittelst zweier Paare von Schleiffedern *F F'* zu zwei Paar

Fig. 78.



Ladd's zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine.

auf dem Grundbrette *D* befestigten Klemmen herabgeführt werden, von denen das eine Paar dem rechts liegenden, das andere Paar dem links liegenden Inductor entspricht.

Die beiden rechts stehenden Klemmen sind einerseits mit den zwei freien Enden des dicken, die Elektromagnete bildenden Umwindungsdrahtes, und andererseits mit den Enden des dünnen, den rechts liegenden Inductor-Cylinder *C C* umgebenden Drahtgewindes vermittelst des Commutators *n* verbunden, wonach die beiden Drahtwindungen der platten-

Digitized by Google

förmigen Elektromagnete und des zwischen den rechts liegenden Polen *A* rotirenden Inductors *C C* nur eine einzige zusammenhängende Leitung darstellen.

Die Drahtenden des zwischen den links liegenden Polen selbstständig für sich rotirenden Inductors *C' C'* gehen dagegen über den Commutator *m* dieses Inductors zu den links stehenden Klemmen, von wo aus die in diesem Cylinder entstehenden Inductionsströme zur beliebigen Verwendung, z. B. zur Erzeugung des elektrischen Lichtes *H*, nach aussen abgeleitet werden können.

Auch hier genügt es, um die Maschine werkfähig zu machen, vor ihrem ersten Gebrauche den Strom eines galvanischen Elements durch die Windungen der Elektromagnete zu leiten, um den vier Polen auf einen Augenblick ihre magnetische Polarität zu geben.

Sobald nun der rechts liegende Cylinder in eine schnelle Rotation versetzt wird, entstehen, wie bereits oben näher ausgeführt worden ist, zuerst ganz schwache Inductionsströme in seinen Drahtgewinden. Indem jedoch diese Ströme über die rechts befindlichen Klemmen und Schleiffedern *F* zu dem Commutator *n* und sodann in gleicher Richtung durch die Windungen der Elektromagnete *B* geleitet werden, verstärken sie den Magnetismus der vier Pole mit jedem neuen Impulse immer mehr, während andererseits eben diese Verstärkung des Magnetismus die fortwährende Verstärkung der Inductionsströme zur Folge hat. Auf diese Weise wächst die Kraft der Pole sehr rasch in demselben Maasse, als die Geschwindigkeit der Rotation dieses rechts liegenden Cylinders *C* zunimmt.

Gleichzeitig wird aber von derselben Triebkraft auch der links zwischen den beiden anderen Polen der Elektromagnete liegende Cylinder-Inductor *C' C'*, dessen Draht über den Commutator *m* und die Federn *F'* in den links stehenden Klemmen endigt, in einer schnellen Umdrehung erhalten,

Digitized by Google

und es entstehen in ihm unter der Einwirkung der nunmehr sehr stark magnetisirten Pole Inductionsströme von ausserordentlicher Stärke, die von diesen Klemmen aus zu beliebigen Zwecken, z. B. zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes in *H*, verwendet werden können.

Bei der Maschine, welche sich in der Pariser Ausstellung befand, hatte der links liegende Arbeits-Cylinder einen fast doppelt so grossen Durchmesser als der andere; von den Klemmen, in welche die Enden seines Drahtes ausliefen, gingen Verbindungsdrähte zu einer *Duboscq*'schen Lampe und erzeugten in dem Kohlenlicht-Regulator bei einem angeblichen Kraftaufwande von 1 Pferdekraft ein Licht gleich dem einer *Bunsen*'schen Batterie von 40 Elementen mittlerer Grösse. Derselbe Strom brachte einen Platindraht von mehr als 1 m Länge bei einer Dicke von $^1/_2$ mm zum Weissglühen. Das Maximum der Umdrehungszahl der Cylinder betrug 1800 Touren in 1 Minute.

In den später gebauten dynamo-elektrischen Maschinen kehrte *Ladd* sowohl als auch *Ruhmkorff* in Paris, der sich von *Ladd* das Recht erworben hatte, die Maschinen nach der englischen Einrichtung zu bauen, zu dem eincylindrigen System zurück, und zwar nicht bloss bei den kleineren, zu Demonstrations-Zwecken für physicalische Cabinette und chemische Laboratorien construirten Apparaten, sondern auch bei den für die Erzeugung des elektrischen Lichtes gebauten Grossmaschinen.

Die plattenförmig gestalteten Elektromagnet-Schenkel stehen in diesen Maschinen wie bei der von *Wilde* (Fig. 65) vertical und sind auch oben durch eine Platte von weichem Eisen mit einander verbunden, während die unteren Enden mit Polschuhen besetzt und für die Aufnahme des rotirenden Cylinder-Inductors kreissegmentförmig ausgeschnitten sind. Auf diese Weise bilden die beiden Elektromagnet-Schenkel nur einen einzigen Elektromagnet mit zwei langgestreckten

Digitized by Google

Polen, zwischen denen auf die bekannte Art der Inductor rotiren kann. Letzterer enthält zwei völlig von einander getrennte, hinter einander liegende Drahtsysteme (Armaturen), deren magnetische Längenachsen einen rechten Winkel mit einander bilden. Die eine Armatur ist kürzer als die andere und ihre Drahtenden stehen mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagnets in Verbindung; die Enden der längeren Drahtspule sind frei und gehen über einen Commutator in seitliche Klemmen, von wo aus die Leitung nach aussen abgeht.

Wird der Cylinder in Umdrehung versetzt, so geht der in der kürzeren Inductorrolle erzeugte Inductionsstrom nach dem dynamo-elektrischen Princip über einen zweiten Commutator zu dem Elektromagnet, der in Folge hiervon und seiner Reaction auf den Inductor bis zum Maximum seiner Tragfähigkeit immer kräftiger magnetisirt wird; gleichzeitig entstehen in der längeren Drahtspule Inductionsströme, welche durch den ersten Commutator gleiche Richtung erhalten und in der eingeschalteten Leitung nutzbar verwendet werden können.

Die Maschinen der letzteren Art sind sowohl in kleineren Dimensionen für die Zwecke der Laboratorien und der physicalischen Cabinette mit Handbetrieb in einer Stärke von etwa 4—5 *Bunsen*'schen Elementen, als auch für den Grossbetrieb zur Erzeugung des elektrischen Lichtes unter Aufwand von mehreren Pferdekräften mehrfach gebaut worden.

Die mit den stärkeren dynamo-elektrischen Maschinen angestellten Versuche im Grossen ergaben leider, dass in Folge des schnellen Polwechsels, mit welchem ohne Zweifel eine bedeutende innere molekulare Arbeit im Eisen des rotirenden Cylinders verbunden ist, dieser sich stark erwärmt; dazu kommt noch, dass durch den Aufwand der Arbeit, der zu der Ueberwindung des sehr bedeutenden

Digitized by Google

Widerstandes erforderlich ist, welchen die Anziehung der Pole auf die Eisentheile dieses Cylinders hervorruft, ebenfalls Wärme erzeugt wird. Es tritt dadurch bei längerer Thätigkeit dieser Maschinen eine so erhebliche Erhitzung der Drähte in den Armaturen ein, dass ihre isolirende Umhüllung verkohlt und dadurch die Maschine beschädigt wird. Durch diesen Umstand wird der nützlichen Verwendung der mit raschem Polwechsel behafteten dynamo-elektrischen Grossmaschinen eine natürliche Grenze gesetzt, welche ohne Gefahr für ihre Erhaltung nicht überschritten werden darf. Die zur Umdrehung der Inductoren aufgewendete Arbeit wird in diesen Maschinen nur zum Theil in Magnetismus und elektrischen Strom umgesetzt, während der übrige Theil hier in der Form von Wärme auftritt und nicht bloss nutzlos verloren geht, sondern auch der Maschine schädlich wird. Diese Erscheinungen erklären einerseits den übermässigen Kraftaufwand, den diese dynamo-elektrischen Maschinen zur Erzeugung elektrischer Ströme verbrauchen, und andererseits fordern sie dazu auf, die Fehlerquelle zu vermeiden und andere Constructionen aufzusuchen. *Ladd* hat es versucht, diesen Uebelstand einigermaassen dadurch zu beseitigen, dass er ununterbrochen durch das Innere der rotirenden Cylinder einen Strom kalten Wassers hindurchleitet.

38. **Siemens-Halske's zweicylindrige dynamo-elektrische Maschine** bestand aus drei neben einander liegenden waagerecht gelagerten grossen Elektromagneten mit sechs Doppelschenkeln und zwölf Polen, von denen je drei einander zugekehrte entgegengesetzten Magnetismus erhielten. An jedem Ende der Maschine rotirte zwischen diesen Polflächen eine kräftige Armatur. Eine besonders construirte, aus Klemmen und Commutatoren bestehende Einrichtung gestattete die verschiedenartigsten Combinationen der Elektromagnete und der beiden Armaturen. Die vollständige Maschine wog gegen 1000kg; das Gesammtgewicht des isolirten Kupferdrahtes

Digitized by Google

auf den Armaturen und dem Elektromagnetschenkel betrug 208kg; jede Armatur wog mit Draht (2½mm) 30kg, jeder Magnetschenkel mit Draht (3mm) 60kg. Jede Armatur hatte circa 200 Drahtwindungen mit einem Widerstande von 1,57 Ohm, jeder Magnetschenkel circa 400 Windungen mit 0,28 Ohm Widerstand; der Gesammtwiderstand des Drahtes der ganzen Maschine betrug circa 3,80 Ohm.

Bei der gewöhnlichen Schaltung der Drähte in der Maschine, bei welcher eine Armatur die Elektromagnete magnetisirte, während die andere den freien Arbeitsstrom für die Leitung lieferte, waren die dynamischen wie die Licht-Effecte unter Anwendung einer Betriebskraft von vier bis fünf Pferdekräften ungemein stark und der Grösse der Maschine vollkommen angemessen. Die Wasserzersetzung ergab 10ccm Knallgas in einer Secunde. Das elektrische Kohlenlicht war äusserst intensiv und selbst bei hellem Tage noch blendend.

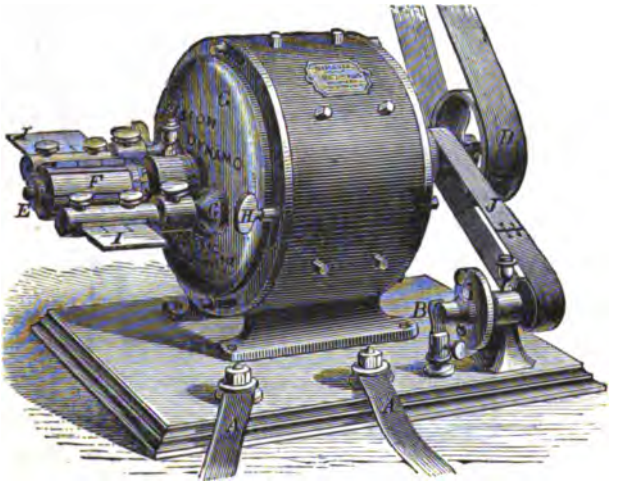
Von der Construction der in den vorstehenden Paragraphen beschriebenen Maschinen weicht diejenige der seitdem construirten dynamo-elektrischen Maschinen in den meisten Fällen insofern ab, als dieselben ohne Anwendung eines Commutators während ihrer Thätigkeit unausgesetzt elektrische Ströme von einer und derselben Richtung liefern; nur bei einigen wenigen Maschinen finden wir noch das Princip durchgeführt, dass ursprünglich Wechselströme erzeugt und diese erst durch einen Commutator in Ströme von unveränderlicher Richtung verwandelt werden, bevor sie zu den Elektromagneten gelangen. Wir stellen im Folgenden die wichtigeren dieser Maschinen zusammen. In einer nächsten Abtheilung werden wir dann die Maschinen betrachten, welche ohne Anwendung eines Commutators fortwährend gleichgerichtete Ströme geben, und in einer weiteren Abtheilung noch einmal zu den Wechselstrommaschinen zurückkehren. Die Maschinen aber, welche wir dort be-

Digitized by Google

trachten werden, besitzen keine Commutatoren, sondern es werden die Wechselströme so wie sie erzeugt werden, in die äussere Leitung abgeführt. Solche Maschinen haben gewisse Vortheile, welche besonders in letzter Zeit ein eifriges Studium derselben veranlassten.

39. Die Weston'sche dynamo-elektrische Maschine zu galvanoplastischen Zwecken ist durch die Figuren 79 und 80 dargestellt; die Fig. 79 zeigt die äussere, Fig. 80 in schematischer Weise die innere Anordnung dieser Maschine. An der eisernen Trommel sind mittelst Schrauben sechs aus Gusseisen verfertigte Elektromagnete *B* befestigt. Die elliptisch ausgeführten Magnete besitzen einen hohlen Eisenkern, dessen Hohlraum zum Zweck der Kühlung mit einer Wasserleitung verbunden ist. Es sind ferner die Langseiten der Magnete mit Stahlplatten bedeckt, welche durch den Strom dauernd magnetisirt werden und nicht leicht durch einen etwa

Figur 79.



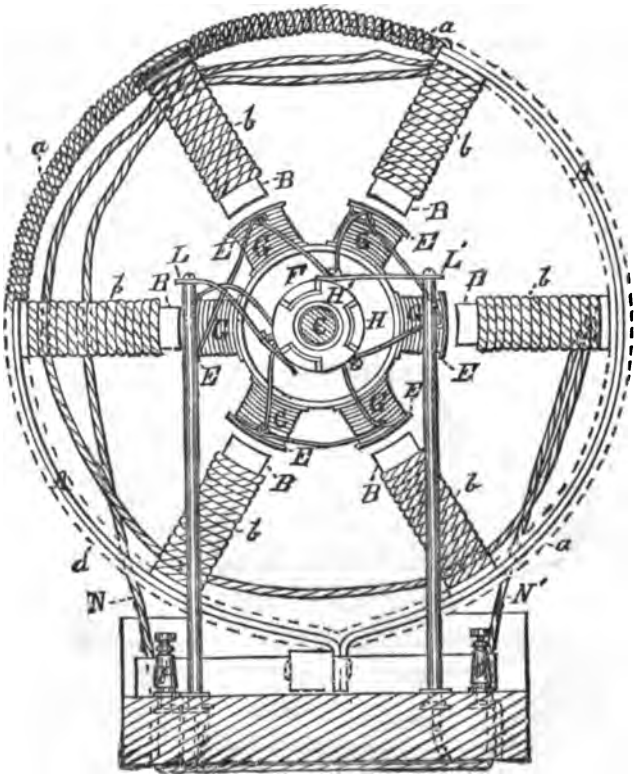
Weston's Maschine.

die Spulen durchlaufenden Polarisationsstrom ummagnetisirt werden können. Die Drähte der Magnete stehen mit ein-

Digitized by Google

ander in Verbindung und bilden eine einzige, nur an zwei Stellen unterbrochene Leitung *b*, welche so geführt ist, dass die nach innen hervorragenden Stirnflächen der Elektromagnete abwechselnde Pole bilden, sobald ein Strom die Leitung durchfliesst. In gleichem Sinne sind auch die sechs auf der Achse der Maschine befestigten kleineren Elektromagnete *G* mit Draht umwunden, jedoch so, dass nur zwei

Fig. 80.



Weston's Maschine.

aufeinanderfolgende verbunden sind. Die freie Stirnfläche *E* eines solchen Elektromagnets wird in Folge der erwähnten Anordnung der Elektromagnete *B* bei jeder Umdrehung der

Digitized by Google

Achse sechsmal ihre Polarität ändern. Die Drahtbündel zweier mit einander verbundener Elektromagnete *G* werden daher gleichzeitig von verschieden gerichteten Strömen durchflossen, die sich aber bei der entgegengesetzten Umwicklung der Eisenkerne zu einem gleichgerichteten Strome vereinigen. Wir können daher je zwei mit einander verbundene Elektromagnete als einen einzigen Hufeisenmagnet betrachten und sagen, dass die drei Drähte der so gebildeten Hufeisenmagnete gleichzeitig von Strömen gleicher Richtung durchflossen sind. Diese Richtung ändert sich natürlich bei einer Umdrehung der Achse sechsmal, so dass in der Armatur durch die Elektromagnete *B* Wechselströme inducirt werden. Zur Gleichrichtung derselben dient ein Commutator (Fig. 80), welcher fest mit der Achse verbunden ist. Der eine Theil *H'* desselben gleicht einem breiten Stirnrade, welches von der Achse isolirt ist; die Lücken, welche die drei Zähne bilden, sind mit passend gewölbten kupfernen Plättchen *H* ausgelegt, die ihrerseits in leitender Verbindung stehen. Dieser zweite Theil ist natürlich von dem ersten gut isolirt. Zu dem einen Theile führen die drei Enden der Drahtbündel *G*, welche denselben Pol repräsentiren, während die drei übrigen zu dem zweiten Theile gehen. Werden demnach die beiden Theile leitend verbunden, so addiren sich die in den Drahtbündeln *G* inducirten Ströme zu einem Gesammtstrom. Dieses geschieht durch zwei Bürsten *J*, welche an diametral gegenüberliegenden Puncten des Commutators federn, und da diese bei der gleichzeitigen Bewegung der Armatur und des Commutators stets in abwechselnder Stellung zu den Theilen des letztern stehen, so werden die Wechselströme der Armatur in gleichgerichtete Ströme verwandelt. Das Princip der dynamo-elektrischen Erregung ist dadurch befolgt, dass die eine Bürste leitend verbunden ist mit dem einen Ende der Leitung *b*, während das andere Ende der Leitung *b* mit

Digitized by Google

der äusseren Leitung und diese wiederum mit der zweiten Bürste verbunden ist. Der in der Armatur erregte Strom durchfliesst also die Leitung *b*, magnetisirt dadurch die Elektromagnete *B*, fliesst alsdann durch die äussere Leitung (etwa das Elektroplatir-Gefäss) zur zweiten Bürste und durch diese in die Armatur zurück.

Bei der Anfertigung der Maschine ist besonders zu erstreben, dass die Elektromagnete *E* und *B* möglichst nahe an einander vorbeigehen, sich aber doch nicht berühren. Damit die Elektromagnete *E* sehr rasch ihre Polarität ändern, sind dieselben aus dem feinsten und weichsten Eisen verfertigt.

Die Maschine wird hauptsächlich zu galvanoplastischen Zwecken gebaut, eignet sich aber ohne weiteres nicht für solche, weil ein von der Polarisation der Elektroden im Bad herrührender Strom sowie die Geschwindigkeit der Maschine unter eine gewisse Grösse herabsinkt, die Polarität der Elektromagnete und dadurch die Richtung des von der Maschine gelieferten Stromes umkehren könnte, so dass der bereits gelieferte Niederschlag wieder aufgelöst würde. Um dieses zu verhüten, ersann *Weston* sinnreiche Nebenvorrichtungen, die indessen erst in Abth. XV besprochen werden sollen.

Ein Vorzug der Maschine besteht schon darin, dass die abnutzbaren Theile auswechselbar sind und in kurzer Zeit ersetzt werden können. Die Maschine ist nur halb so gross und schwer als andere zu gleichem Zweck dienende Apparate und soll dennoch, selbst bei geringer Tourenzahl (450 bis 800), eine sehr kräftige Wirkung ausüben. Kein Wunder also, wenn sie, in America allenthalben geschätzt, eine weite Verbreitung gefunden hat. Besondern Beifall verdient auch

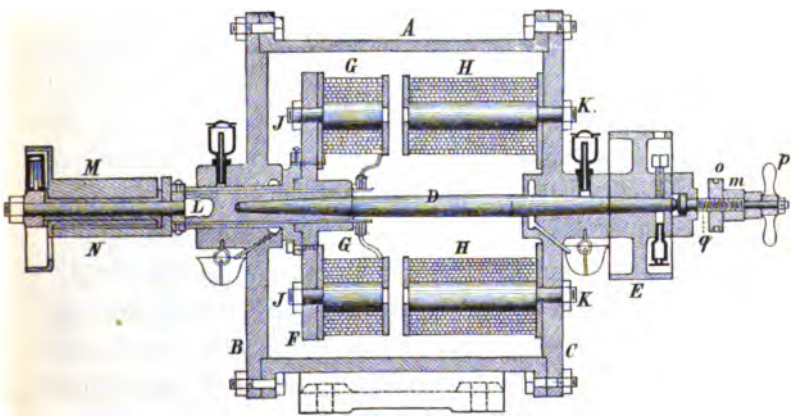
40. Die dynamo-elektrische Maschine von H. G. Möhring in Frankfurt am Main **und Gustav Baur** in Stuttgart, welche in jeder Beziehung ihr Vorbild, die *Weston*'sche Maschine, zu überflügeln scheint. (Fig. 81.) Sie zeichnet sich zunächst durch eine vortheilhafte gedrängte Anordnung der einzelnen

Digitized by Google

Theile aus. Die sechs feststehenden Elektromagnete *H* sind an der Innenwand des Deckels *C* eines cylindrischen Gehäuses *A* mittelst Schrauben *K* befestigt. Ihnen gegenüber stehen, mit der durch die Riemenscheibe *E* getriebenen Welle *D* drehbar, sechs Elektromagnete *G*, die durch Schrauben *J* an der auf der Welle *D* festsitzenden Gusseisenscheibe *F* befestigt sind. Die Welle *D* ist in den Deckeln *B* und *C* gelagert und trägt an ihrem vorderen Ende den messingenen Theil *L*, an dessen vorspringendem Theile der aus zwei gegeneinander isolirten Theilen *M* und *N* bestehende Commutator angebracht ist.

Während nun bei der *Weston*'schen Maschine die festen Elektromagnete eine einzige Leitung bilden, sind dieselben bei dieser Maschine in Parallelschaltung in den Stromkreis der Spulen *G* aufgenommen. Dazu führt der Strom von der einen Bürste, welche gegen den Commutator federt, zu einem isolirten Bolzen, von dem 6 einzelne Drähte zu den

Fig. 81.



Dynamo-elektrische Maschine von H. G. Möhring und G. Baur.

Elektromagneten *H* führen und um diese so gewickelt sind, dass die Stirnflächen abwechselnde Pole haben. Die Enden der sechs Drähte können alsdann entweder in einem zweiten

Digitized by Google

gemeinsamen isolirten Bolzen enden, an den sich in diesem Falle die äussere Leitung anschliesst — oder aber zunächst einzeln nach galvanoplastischen Bädern geführt und dann erst an dem isolirten Bolzen vereinigt werden, welcher nunmehr mit der zweiten Bürste zu verbinden ist. Dadurch bietet sich eine wichtige Vorrichtung zur Erzeugung von sechs Nebenströmen ohne Schwächung des Hauptstromes.

Einen weiteren Vorzug müssen wir in der Regulirungs-Vorrichtung zum Variiren der Stromstärke während des Ganges der Maschine erblicken. Nach Lösung der Stellmutter *o* lässt sich nämlich mittelst des Griffrädchens *p* der Schraubenbolzen *q*, dem das Querstück *m* als Mutter dient, und hierdurch die Achse *D* hin und her verschieben, wodurch die Magnete *G* den Magneten *H* genähert oder von ihnen entfernt werden. Auch kann die Maschine mit einer Vorrichtung versehen werden, ein etwa in den Bädern entstehendes Rückströmen der Elektricität zu vermeiden. Mittelst eines Commutators gleichgerichtete Wechselströme gibt schliesslich

41. Die Lichtmaschine von Brush, welche von manchen Physikern etwa bei den mit der *Gramme*'schen Maschine verwandten Apparaten besprochen zu werden pflegt. Wohl erinnert der Inductor der *Brush*'schen Maschine an die Construction des *Gramme*'schen Ringes, weicht indessen so sehr von dem letztern in wesentlichen Puncten ab, dass derselbe in Verbindung mit einem sinnreich erdachten Commutator den Strom auf eine Weise erzeugt, welche die Besprechung an dieser Stelle erfordert. Ihre Aehnlichkeit mit der *Gramme*-Maschine beruht in der Form des Ringes, aber sie unterscheidet sich von demselben durch die Anordnung der Drahtwindungen und der Verbindung der verschiedenen Abtheilungen unter einander. Der *Gramme*'sche Ring ist ganz mit Drahtwindungen bedeckt und die einzelnen auf einander folgenden Abtheilungen sind mit einander verbunden, so dass eine continuirliche Drahtleitung den Ring um-

Digitized by Google

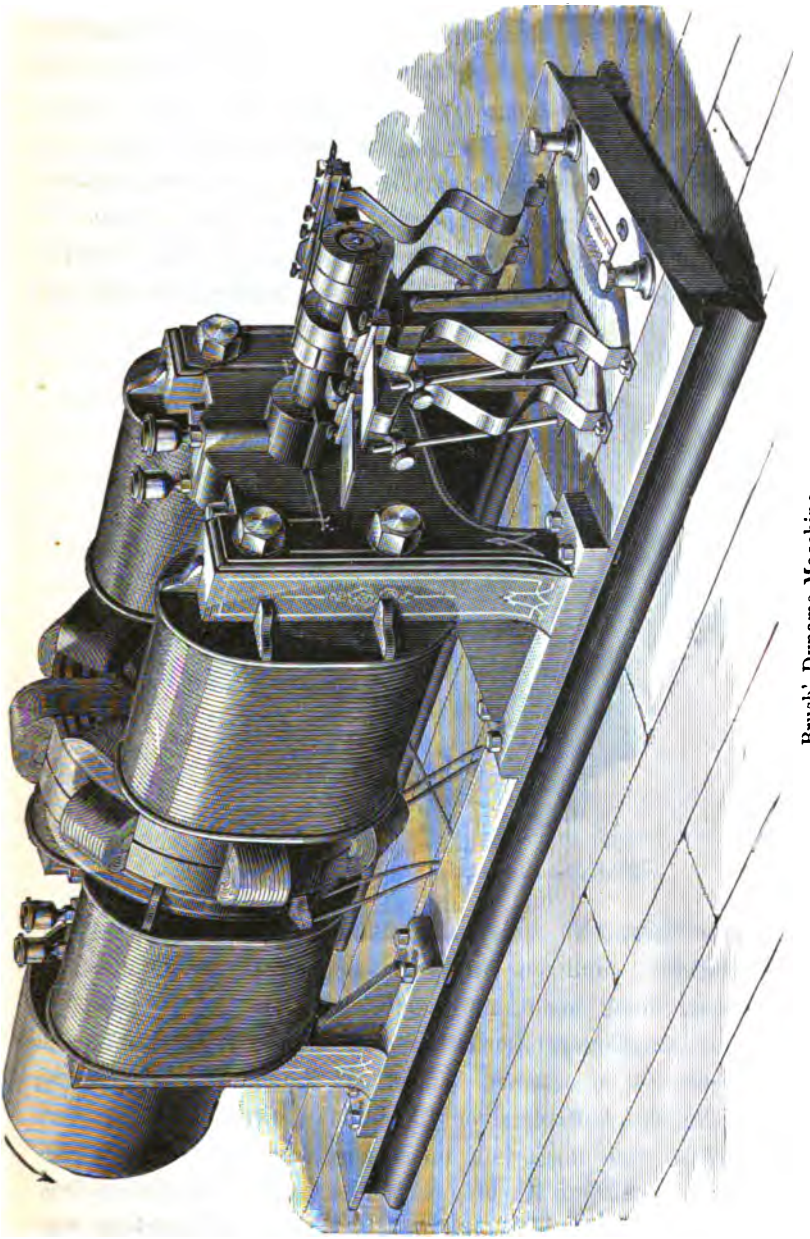
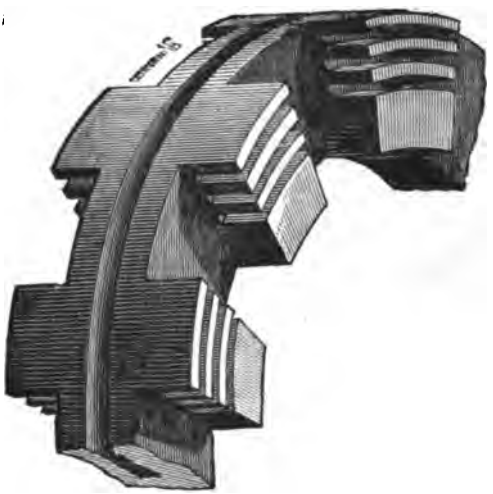


Fig. 82. Brush' Dynamo-Maschine.

Digitized by Google

windet. Bei der *Brush*-Maschine dagegen sind die einzelnen Drahtspulen von einander durch einen beträchtlichen Sector des eisernen Ringes getrennt, welcher zwischen den einzelnen Spulen einen grösseren Querschnitt hat, so dass bei der Rotation des Ringes im magnetischen Felde die Drahtspulen abwechseln mit Eisenmassen, welche in Folge ihres vergrösserten Querschnittes in möglichste Nähe mit den Polen der Elektromagnete gebracht werden. Ferner sind nicht die einander benachbarten Drahtspulen mit ein-

Fig. 83.



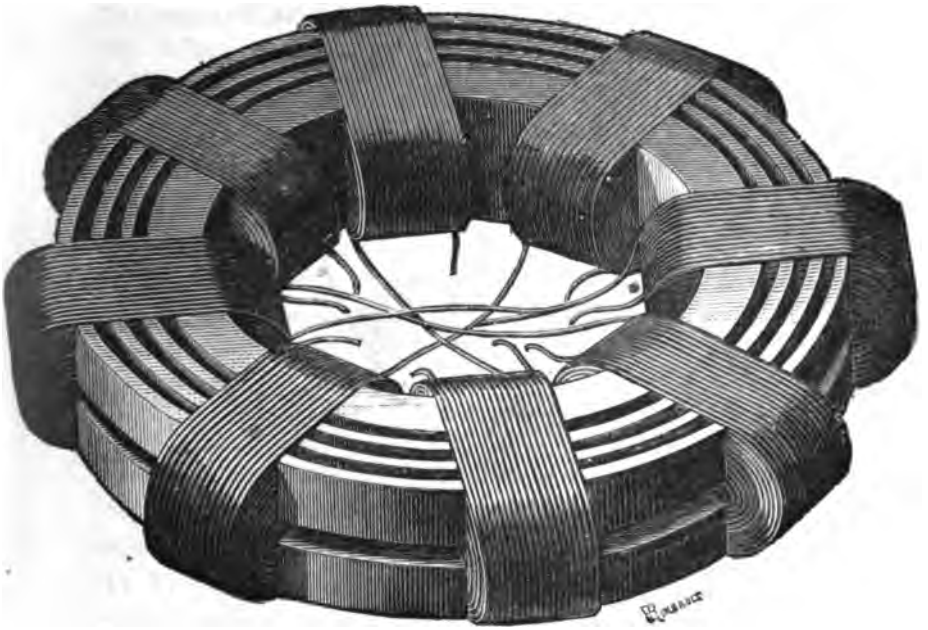
Ring der Brush-Maschine ohne die Windungen.

ander verbunden, sondern die einander diametral gegenüberstehenden, und ein in einem solchen Paar circulirender Strom fliesst nicht nothwendig auch durch die anderen Paare. Die Construction des eisernen Ringes ist aus den Figuren 83 und 84 zu ersehen. Er ist mit tiefen Rinnen versehen, welche das Auftreten von Inductionsströmen im Ringe verhindern und ausserdem noch eine Ventilation zur Abkühlung der auf dem Ringe gewickelten Drähte bewirken sollen. Ausserdem besitzt er eine Anzahl tiefer, rechteckiger Ein-

Digitized by Google

schnitte, gewöhnlich acht an der Zahl. In diese Einschnitte wird soviel Kupferdraht eingewickelt, dass die-

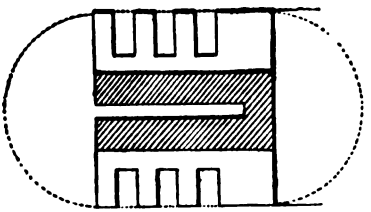
Fig. 84.



Ring der Brushmaschine.

selben ganz ausgefüllt werden. Es entstehen dadurch acht Drahtspulen, welche alle in demselben Sinne gewickelt sind.

Fig. 85.



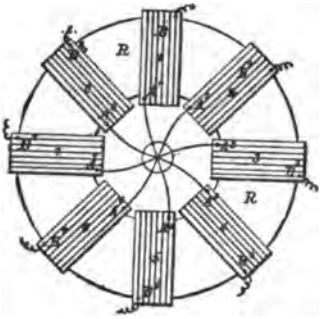
Durchschnitt durch den Ring der Brush-Maschine.

Das innere Ende jeder derselben ist verbunden mit dem inneren Ende der diametral gegenüberstehenden Spule (s. Fig.

Digitized by Google

84 u. 86) und die äusseren Enden aller Spulen werden durch die Axe der Maschine nach dem Commutator geführt. Derselbe ist von den bei den übrigen Maschinen gebräuchlichen wesentlich verschieden. Er besteht aus so viel Kupferringen als

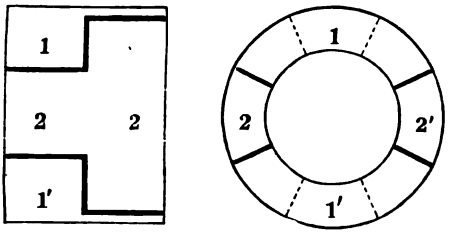
Fig. 86.



Die 8 Drahtspulen auf dem Ringe.

Spulenpaare vorhanden sind. Die gewöhnlichen Maschinen haben vier Spulenpaare und der Commutator derselben besteht daher aus vier auf der Axe aufsitzenden isolirten Kupferringen *I*, *II*, *III*, *IV*, welche paarweise (*I II*) (*III IV*) von je zwei Bürsten bedient werden. Jeder

Fig. 87.



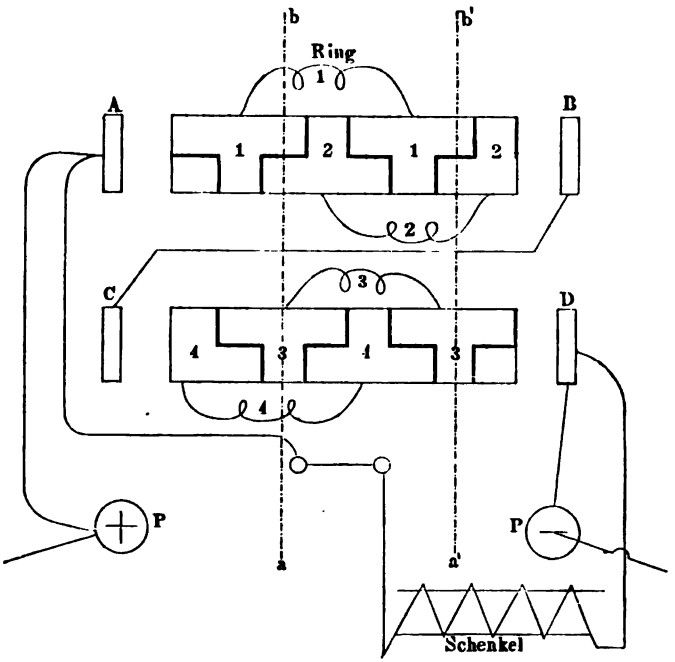
Commutator-Ring der Brush-Maschine.

Kupferring, Fig. 87, ist in vier Theile zerschnitten *1*, *1*^{1}, *2*, *2*^{1}. Die Theile *1*, *1*^{1} umfassen je $^3/_8$, die Theile *2*, *2*^{1} nur je $^1/_8$ des ganzen Umfanges. Dazwischen befindet sich eine Rinne von $^1/_2$ cm Breite. Die zu einem gleichen Bürstenpaare *A B* gehörenden Kupferringe *I II* sind derart mit ein-

Digitized by Google

ander verbunden, dass je ein langes Stück des einen Ringes einem kurzen Stücke des andern Ringes gegenüber liegt. Je zwei solche Theile bilden ein einziges Stück. Die zwei gegenüber liegenden langen Stücke eines Ringes sind mit den beiden äusseren Enden eines Rollenpaares verbunden, und zu einem Paar Kupferringe *I II* gehören zwei Rollenpaare, deren Hauptebenen rechtwinkelig zu einander stehen. Dadurch wird nun erreicht, dass nie alle Spulenpaare in die Leitung eingeschaltet sind, sondern immer dasjenige

Fig. 88.



Schema des Commutators der Brush-Maschine.

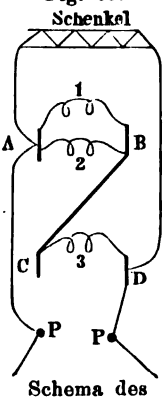
ausgeschaltet ist, welches in dem betreffenden Momente die neutrale Zone der Maschine passirt, wo keine Induction stattfindet.

Figur 88 zeigt schematisch, wie dies erreicht wird. Die

Digitized by Google

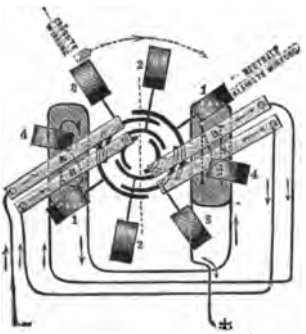
Kupferringe sind in eine Ebene abgewickelt gedacht, aber in der richtigen relativen Lage, und die einzelnen Theile sind mit den für sie in Obigem eingeführten Zeichen versehen. Zieht man zwei verticale Linien *a b*, a^1 b^1, welche die Kupferringe an zwei diametralen Stellen schneiden, so erhält man Orte, welche gleichzeitig die Bürsten *A B C D* passiren. Auf der Zeichnung kann man so leicht den Stromkreis für jede Stelle des Commutators ablesen. Man findet, dass immer drei Rollenpaare eingeschaltet sind, von welchen die beiden in Diametralstellung befindlichen (*1*, *2*) neben einander liegen. Figur 89 zeigt das Schema für den Moment, wo die Linien *a b*, a^1 b^1 die Bürsten passiren. Das Rollenpaar *4* ist ausgeschaltet, *1* und *2* zwischen *A B* und *3* zwischen *C D* eingeschaltet. Bei jeder Umdrehung der Maschine wird jedes Rollenpaar zweimal ausgeschaltet. Bei der dargestellten Schaltungsweise sind die Elektromagnete in einer Nebenleitung, wie dies für die Incandescenzbeleuchtung vortheilhaft ist.

Fig. 89.



Schema des Stromlaufes.

Fig. 90.



Schema der vollständigen Brush-Maschine.

Die Figur 90 zeigt den vollständigen Stromlauf einer Maschine, wo die Elektromagnete in die Hauptleitung eingeschaltet sind, und es ist in derselben zugleich die Zone

Digitized by Google

der intensivsten Wirkung angegeben, die verticale Lage und diejenige, wo keine Induction stattfindet, die horizontale Lage. Bei der augenblicklichen Stellung des Ringes sind die Spulenpaare 2 und 4 parallel neben einander geschaltet, das Spulenpaar 1, welches die neutrale Zone passirt, ist ausgeschaltet. Um die Verbindung des Commutators mit den Bürsten recht deutlich zu machen, sind die Elektromagnete *N S* bloss angedeutet, und der Commutator um circa 30° von rechts nach links verdreht.

Durch die Construction des Commutators wird also erreicht, dass immer dasjenige Spulenpaar, welches die Stelle der stärksten Induction passirt, seinen Strom direct in die Leitung liefert, während die zwei Paare, welche erst in die günstige Stellung eintreten oder sie verlassen, parallel neben einander geschaltet sind, indem ihre Commutatortheile von einem und demselben Bürstenpaar berührt werden.

Das magnetische Feld wird erzeugt durch 4 flache Elektromagnete, welche dieselben Pole einander zukehren, einmal die Nordpole, auf der anderen Seite die Südpole. Die zugekehrten Seiten sind mit grossen eisernen Lappen versehen, so dass durch dieselben immer sechs Spulen bedeckt werden und nur das eine Spulenpaar, welches den Polwechsel durchmacht und in der günstigsten Stelle sich bewegt, frei bleibt.

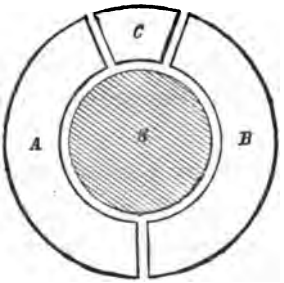
Nach diesen Betrachtungen ist klar, dass die vier Spulenpaare der *Brush*-Maschine in Wirklichkeit vier getrennte Maschinen bilden, von denen jede Wechselströme liefert, einmal durch Uebertreten aus einem südmagnetischen in ein nordmagnetisches Feld positive, das andere Mal bei der umgekehrten Bewegung negative Ströme. Diese Wechselströme werden durch den Commutator in gleichgerichtete intermittirende Ströme verwandelt. Diese vier Maschinen sind zu zwei Paaren vereinigt durch die Bürsten, welche gleichzeitig je auf zwei Commutatorringen schleifen. Diese

Digitized by Google

gepaarten Maschinen endlich sind dadurch hintereinander geschaltet, dass die Bürsten passend verbunden sind.

Brush baut auch grosse Maschinen mit 6 Spulenpaaren und drei Bürstenpaaren. Die Schaltung ist ganz analog. Je die zwei rechtwinklig zu einanderstehenden Paare werden von den gleichen Bürsten bedient und die drei Bürstenpaare sind hintereinander verbunden. Auch ist immer das die horizontale Lage passirende Spulenpaar ausgeschaltet. Bei den früheren Maschinen ist der Commutatorring nicht in vier, sondern bloss in drei Theile zerschnitten, von denen zwei längere $^3/_8$, der kürzere $^1/_8$ des Umfangs umspannt, das andere $^1/_8$ kommt auf die Isolirung. (Fig. 91.) Eine

Fig. 91.



Der dreitheilige Commutator-Ring.

ausführliche richtige Darlegung des Stromlaufes in diesem Falle ist von *Uppenborn*[1]) und *Ernst Richter*[2]) gegeben worden.

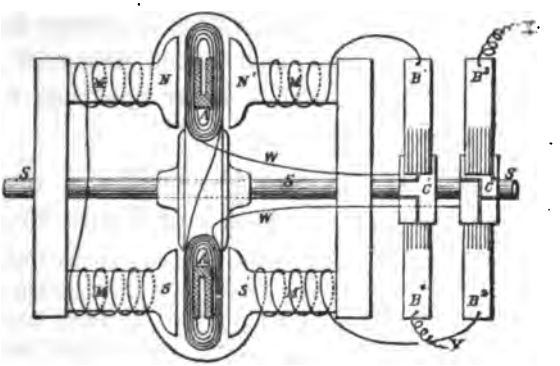
Die Schaltung und Anordnung ist analog. Die Verbindung der vier Paare Inductorspulen mit den Commutatorringen geschieht so, dass die äusseren Enden der Drahtwindungen derselben je mit den längern Stücken *A* und *B* der letzteren verbunden werden. Je zwei Commutatorringe zusammen besitzen gemeinschaftlich ein Bürstenpaar und sind mit Spulenpaaren

1) Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre 1882, p. 191 u. ff.
2) Electrotechnische Zeitschrift 1882, p. 193 u. ff.

Digitized by Google

auf den Inductorringen verbunden, welche senkrecht zu einander stehen. Die Bürsten B^1 und B^2 (Fig. 92) stehen in Verbindung mit den Elektromagneten M; die Bürsten B^3 und B^4 mit der Hauptleitung. Ganz gleich wie bei der neueren oben beschriebenen Construction mit viertheiligem Commutatorring ist immer ein Spulenpaar ausgeschaltet, nämlich dasjenige, welches die horizontale neutrale Stellung passirt. Die drei übrigen Spulenpaare sind nach dem in Fig. 88 gezeichneten Schema verbunden. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Elektromagnete direct in die

Fig. 92.



Brush-Maschine mit dreitheiligem Commutator.

Hauptleitung eingefügt sind. Der Stromlauf ist folgender (siehe Fig. 92): Von der äusseren Leitung X zu der Bürste B^3, dem Commutator C^2, den parallelgeschalteten Spulenpaaren 3 und 4 zum Commutator C^2, zurück zur Bürste B^2, in die Elektromagnete M, zur Bürste B^1, zum Commutator C^1, in das Spulenpaar 1 (das dazu senkrechte Spulenpaar 2 ist ausgeschaltet), zum Commutator C^1, zur Bürste B^4, in die Hauptleitung Y.

Im Anfang wurde irrthümlich behauptet und wird noch an vielen Orten nachgesagt, dass die *Brush*-Maschine stets zwei getrennte Stromkreise habe, den einen für die Erregung der Elektromagnete, den andern für die äussere

Digitized by Google

Leitung. Von Seiten der *Brush*-Gesellschaften wurde diesem Irrthum nicht entgegengetreten.

Die Maschinen von *Brush* sind einfach im Bau und billig in der Unterhaltung; alle Theile sind leicht zugänglich, daher Reparaturen leicht zu bewerkstelligen. Sie haben in Folge dessen eine weite Verbreitung in America und neuerdings auch in England gefunden; gerade in letzter Zeit machen sie viel von sich reden, da sie Ströme von solch hoher Spannung erzeugen, dass 20, ja 40 Lampen in denselben Stromkreis geschaltet werden können.

Die grössten Maschinen für 40 Lampen liefern Ströme von 2000 Volt Spannung. Doch wird diese enorme Spannung denselben mehr als Nachtheil angerechnet wegen der Gefährlichkeit, mit Elektricität von so hoher Spannung zu manipuliren.

Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht der von *Brush* an einer Maschine für 16 Lampen ausgeführten Messungen:

Widerstand der Maschine zwischen den Klemmen	10,55	Ohm
„ des äusseren Kreises	72,96	Ohm
wovon in den 16 Lichtbogen	70,86	Ohm
Spannung in den Klemmen	839,02	Volt
Stromstärke	10,04	Ampère
Kraft zum Treiben der Maschine	15,48	Pferdestärken.
absorbirt zur Erzeugung des Stromes . .	13,78	„
Energie des erzeugten Stromes	11,25	„
Von dem erzeugten Strome erschienen im äussern Stromkreise	87,36	%
in den 16 Lichtbogen	84,00	%
Der erzeugte Strom repräsentirte von der ganzen mechanisch aufgewendeten Arbeit .	72,90	%
Der erzeugte Strom repräsentirte von der ganzen elektrischen Arbeit der Maschine . .	81,89	%
In den 16 Lichtbogen erschienen als Wärme und Licht von der ganzen mechanisch aufgewendeten Arbeit	61,24	%
In den 16 Lichtbogen erschienen als Wärme und Licht von der ganzen elektrischen Arbeit der Maschine	68,79	%.

Digitized by Google

Die vorstehenden Messungen erweisen die grosse Leistungsfähigkeit der Maschinen von *Brush;* sie wurden aber schon vor drei Jahren ausgeführt und seitdem sind wesentliche Verbesserungen an denselben gemacht worden. Es ist zu bedauern, dass nicht mehr solche genaue Messungen gemacht werden, da sie allein über die Vorzüglichkeit einer Maschine endgültig entscheiden können. Man lobt allgemein die solide Construction und den grossen Effect dieser Maschinen; dagegen beklagt man sich über das durchdringende Geräusch, welches sie durch den rasch rotirenden Ring in Folge seiner mit tiefen Rinnen versehenen Oberfläche verursachen, welches die Maschinen an bewohnten Orten fast unmöglich macht.

Digitized by Google

V. Abtheilung.

Die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen zur Erzeugung continuirlicher Ströme,

welche in zwei Hälften in parallel geschalteten Zweigen entstehen.

42. Pacinotti's Ringmaschine. Wir betreten nunmehr das Gebiet der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen, welche ohne Anwendung eines Commutators während ihrer Thätigkeit unausgesetzt elektrische Ströme von einer und derselben Richtung liefern.

Schon im Jahre 1860 construirte *Dr. Antonio Pacinotti* in Florenz auf Rechnung des technologischen Cabinets der Physik der Universität zu Pisa ein kleines Modell einer neuen elektro-magnetischen Maschine, deren Einzelheiten er erst in dem neunzehnten Bande (S. 378) des Journals für Physik und Chemie „*Il Nuovo Cimento*" ausführlich beschrieb und abbildete.[1]) Als neu in dieser Maschine wird von ihm die besondere Form des beweglichen Elektromagnets bezeichnet, welche die eines Eisenringes sei, der die Eigenschaft habe,

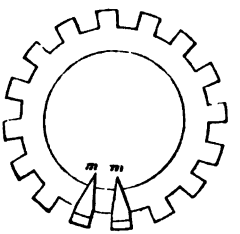
1) Es ist auffallend, dass dieser Band XIX auf dem Titelblatte die Jahreszahl 1863 trägt, während doch die meisten der in demselben enthaltenen Abhandlungen vom Jahre 1864 sind und eine sogar das Datum *Milano 7 Gennaio 1865* trägt. Die Abbildungen, welche wir hier geben, sind ganz getreue Copien der von *Pacinotti* mitgetheilten sehr unvollkommenen Figuren mit allen ihren Ungenauigkeiten und Fehlern der Zeichnung.

Digitized by Google

dass die Magnetpole nicht, wie es in den bisher üblichen Armaturen der Fall sei, in diesen eine unveränderliche Lage behielten, sondern sich innerhalb des Ringes bewegten, d. h. der Reihe nach alle möglichen verschiedenen Lagen annehmen.

Dieser drehbare Eisenring hatte die Form eines Zahnrades (Fig. 93) mit 16 Zähnen, das auf vier messingenen Speichen *aaaa* (Fig. 94) befestigt und hierdurch mit der

Fig. 93.



Rahmen zu Pacinotti's Ring.

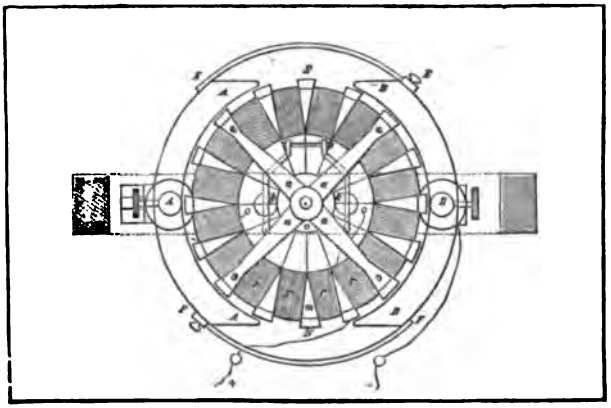
Achse der Maschine fest verbunden war. Auf die Zähne waren kleine hölzerne Keile *mm* (Fig. 93) gesetzt und die zwischen je zwei Keilen vorhandenen Zwischenräume mit Drahtspulen *rr*... (Fig. 94 und 95) ausgefüllt. Die Richtung der Umwindungen war bei allen Spulen eine und dieselbe, und zwar war das Ende jeder Spule mit dem Anfange der nächst benachbarten zusammengelöthet, so dass das ganze System der 16 Drahtrollen eine einzige in sich selbst zurückkehrende, den ganzen Ring gleichmässig umgebende Drahtspirale bildete. Von den einzelnen Löthstellen bogen Drähte rechtwinklig abwärts und gingen parallel zur Rotationsachse *MM* (Fig. 95) zu eben so vielen von einander isolirten Messingstücken, die in zwei über einander stehenden Reihen in einen mit der Achse fest verbundenen Holzcylinder *c* eingelassen waren und ein wenig aus diesem Cylinder nach aussen hervortraten. In der Fig. 95 sind diese Messingstückchen dunkel schraffirt gezeichnet.

Zu beiden Seiten dieses wagerechten Ringes waren die

Digitized by Google

beiden Schenkel $A\,B$ (Fig. 94 und 95) eines kräftigen Elektromagnets vertical aufgestellt, dessen untere Enden durch eine gemeinsame eiserne Schiene $F\,F$ (Fig. 95) verbunden waren und sich vermittelst einer unter dem Gestelle angebrachten Schraube G den Spulen des Ringes mehr oder

Fig. 94.



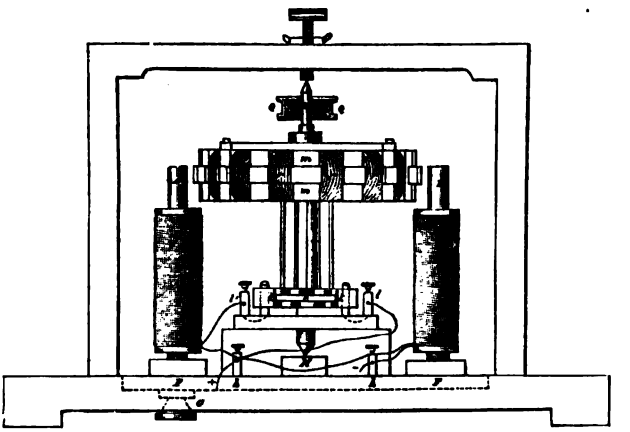
Pacinotti's Ringmaschine (Grundriss).

weniger annähern liessen. Endlich waren noch in der Ebene der Elektromagnete zu beiden Seiten der Rotationsachse zwei messingene Contactrollen $k\,k$ angebracht, deren Umfänge sich auf dem Umfange der unteren, mit den Messingstücken besetzten Holzscheibe abrollten und die bei der Drehung der Achse mit allen Messingstückchen dieser Scheibe nach der Reihe in eine leitende Verbindung kamen. Wenn daher die Klemmen $h\,h'$ mit den Polen einer galvanischen Batterie in Verbindung gebracht werden, so geht der Strom, wenn er bei h (+) eintritt, durch die Klemme l (rechts) nach der Rolle k und über dasjenige Messingstück der Holzscheibe c, welches zufällig mit der Rolle in Contact steht, hinauf nach den beiden Drahtspulen des Eisenringes, deren zusammengelöthete Anfangs- resp. Endpunkte mit diesem Messingstücke in Verbindung stehen.

Digitized by Google

Von dieser Löthstelle aus verzweigt sich der Strom nach beiden Seiten des Eisenringes durch die Drahtspulen, welche einen halben Umfang des Ringes bilden, und durchläuft die Spulen beider Halbkreise in entgegengesetzten Richtungen, worauf die beiden Stromzweige in der anderen Contactrolle *k* (links) wieder zusammentreffen und zu der

Fig. 95.



Pacinotti's Ringmaschine (Aufriss).

zweiten Klemme *l'* übergehen. Von *l'* aus geht sodann der Strom nach dem Elektromagnetschenkel *A* und von diesem zu dem andern Schenkel *B* und schliesslich über die rechts befindliche Klemme *h'* zu dem negativen Pole der Batterie zurück. Auf diese Weise geht also der Strom von demjenigen Puncte des Ringes aus, welcher dem Magnetschenkel *A* oder *B* gegenübersteht, durch die nach beiden Seiten je in Halbkreise des Ringes befindlichen Drahtspulen und zugleich durch die beiden Schenkel *A* und *B* des Elektromagnets, so dass sowohl dieser wie auch der Eisenring magnetisch werden.

Um die Wirkung des Elektromagnets auf den magnetisch gewordenen Ring möglichst weit auszunutzen, versah *Pacinotti* die beiden Pole mit Armaturen von weichem Eisen

Digitized by Google

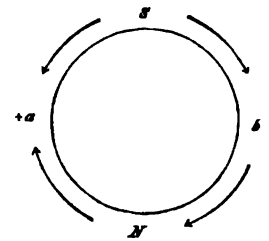
AAA, *BBB* (Fig. 94), welche sich segmentartig möglichst nahe an den Ring anschmiegten und von denen jede mehr als ein Drittel des Ringes umfasste; zur grösseren Befestigung waren dieselben mit den messingenen Schienen *E E*, *E E* unter einander verbunden. (In der Figur 95 sind diese Armaturen absichtlich weggelassen, um den Ring und seine Spulen nicht zu verdecken.)

Von einer solchen Disposition sagt *Pacinotti* ganz richtig, dass der Eisenring magnetisch werden muss, indem er seine Pole da zeige, wo die Rheophore (die Klemmen *l* und *l'*, so wie die Contactrollen *k* und *k*) angebracht sind; die gerade Linie, welche diese Pole verbinde, könne man die magnetische Achse nennen, und man könne dieser letzteren durch Verlegung der Contactstücke, welche mit der Batterie in Verbindung stehen, jede beliebige transversale (diametrale) Lage zu dem Eisenringe geben, wesshalb er auch den Eisenring selbst mit seinen Drahtrollen einen transversalen Elektromagnet nenne. Er gibt ferner an, dass sich der Strom in den Spulen des Ringes nach zwei entgegengesetzten Richtungen verzweige und dass man die beiden durch den Strom magnetisch werdenden Hälften des Eisenringes als zwei Elektromagnete ansehen könne, welche mit den gleichnamigen Polen einander gegenüber stehen. Endlich fügt er noch ausdrücklich hinzu, dass in seiner Maschine diese Pole in dem Durchmesser liegen, welcher die oben genannte Rheophore der Batterie, das heisst die Contactrollen *k k* mit einander verbindet, also in der durch die beiden Schenkel *A B* des feststehenden Elektromagnets gelegten Ebene. Das ist nun alles ganz richtig; wenn aber *Pacinotti* wirklich nach diesen Angaben seine Maschine ausgeführt hätte, so würde sie wirkungslos gewesen sein, weil die Pole des drehbaren Ringmagnets mit denen des festen Elektromagnets in derselben Ebene lägen und daher eine Drehung des Ringes weder in der einen

Digitized by Google

noch in der anderen Richtung erfolgen könnte. *Pacinotti* aber sagt von seiner Maschine ausdrücklich, dass sie wirksam sei, und er macht eine Reihe von Versuchen, um das Verhältniss der von der Maschine geleisteten mechanischen Arbeit und des Verbrauchs an Material in der Batterie zu bestimmen; eben hierzu diente ihm die auf die Rotationsachse aufgesetzte Rolle $Q\,Q$ (Fig. 95), welche er durch eine

Fig. 96.



Stromesrichtung im Ringe nach Pacinotti.

Schnur mit einem passenden Gewichte von solcher Grösse in Verbindung brachte, dass der Zug des letztern gerade hinreichte, der durch den Strom bewirkten Drehung des Eisenringes das Gleichgewicht zu halten.

Man kann daher nur annehmen, dass die Verwirrung, welche in der Abhandlung von *Pacinotti* unverkennbar vorhanden ist, und der Irrthum, dass die Contactrollen $k\,k$ den Polen des feststehenden Elektromagnets gegenüber gezeichnet sind, während sie 90° davon entfernt stehen müssen, [1])

1) In den Figuren 94 und 95 sind entgegengesetzt zu dem italienischen Texte die Pole des Ringmagnets 90° entfernt von den Polen des festen Elektromagnets angenommen und mit $N\,S$ bezeichnet, was zwar nicht der Stellung der Contactrollen entspricht, aber doch in der Wirklichkeit der Fall sein muss, wenn die Maschine wirkungsfähig sein soll. In der Maschine von *Pacinotti* haben diese Rollen wahrscheinlich die richtige Stellung den Buchstaben $N\,S$ gegenüber oder 90° entfernt von den Schenkeln des Elektromagnets $A\,B$ gehabt. Auch in der Figur 96 findet sich ein Fehler, da der zwischen S und b liegende Pfeil seine Spitze dem Buchstaben S und nicht dem b zuwenden muss, wie es auch die Worte *Pacinotti's* ausdrücklich verlangen.

Digitized by Google

wenn die Maschine am kräftigsten wirken soll, daher rührt, dass zwischen der Ausführung der Maschine im Jahre 1860 und der Veröffentlichung der Abhandlung, die zwischen die Jahre 1863 und 1865 fällt, ein grosser Zeitraum liegt, und *Pacinotti* bei der Ausarbeitung seiner Abhandlung nicht mit der erforderlichen Sorgfalt verfahren ist, vielleicht auch ältere Zeichnungen benutzte, die als Entwürfe gedient hatten und die zu der wirklichen Ausführung der Maschine nicht ganz stimmten.

Die vorstehende Beschreibung des *Pacinotti*'schen Ringes und seiner Wirkung bezieht sich auf seine Verwendung in einer elektro-magnetischen Maschine; aber *Pacinotti* hat gegen das Ende seiner Abhandlung genau angegeben, wie man mittelst derselben Ringarmatur mit Leichtigkeit die elektro-magnetische Maschine in eine magnet-elektrische umwandeln und dann unter Anwendung eines permanenten oder eines Elektromagnets einen continuirlichen stets in derselben Richtung fliessenden Strom erhalten könne. Da wir damit das Gebiet der neuesten magnet-elektrischen Maschinen betreten und dadurch schlagend nachgewiesen wird, dass das Recht der Priorität in Bezug auf die Erfindung und erste Anwendung der Ringarmatur auf Seiten *Pacinotti's* steht so geben wir den betreffenden Auszug aus dem italienischen Original in wörtlicher Uebersetzung wieder.

„Wenn man den Elektromagnet *A B* (Fig. 94 und 95) durch einen permanenten Magnet ersetzte und man den Transversalmagnet (den Ring) rotiren liesse, so hätte man in der That eine magnet-elektrische Maschine, welche einen continuirlichen stets in derselben Richtung fliessenden Inductionsstrom lieferte. Um auf dem Commutator [1]) die geeignetste Stelle zu finden, wo dieser

1) *Pacinotti* nennt die untere mit Messingstücken besetzte Holzscheibe *c* mit Unrecht „Commutator", da sie nicht die Aufgabe hat, den Strom zu commutiren, sondern ihn aus den Drahtspulen des Ringes nach der Leitung hin abzuführen.

Digitized by Google

inducirte Strom (aus dem Ringe in die Leitung) übergeführt werden muss, bedenken wir, das dem Pole des feststehenden Magnets gegenüber durch Influenz in dem drehbaren Ringe und zwar an dem Endpunkte eines Durchmessers desselben entgegengesetzte Pole entstehen. Diese Pole $N S$ (Fig. 95)[1]) behalten während der Drehung des Ringes um seine Achse ihre feste Lage, und so dürfen wir bezüglich des Magnetismus und folglich auch der inducirten Ströme die Sache so ansehen, als ob die Drahtspulen um den Ring rotirten und der Eisenring selbst unbeweglich fest stehen bliebe. Zur näheren Untersuchung der inducirten Ströme, welche in diesen Drahtspulen erzeugt werden, betrachten wir eine von ihnen in den verschiedenen Lagen, welche sie nach einander einnehmen kann. Wenn wir vom Pole N (Fig. 96) über a nach dem Pole S fortschreiten, so wird sich auf diesem Wege ein Strom bilden, der seine Richtung beibehält, bis wir zu dem mittleren Puncte a gekommen sind; über diesen Punct hinaus nimmt der Strom die entgegengesetzte Richtung an. Schreiten wir dann vom Pole S über b nach dem Pole N weiter, so behält der Strom bis zum mittlern Puncte b die Richtung unverändert bei, welche er auf der Strecke zwischen a und S hatte; über b hinaus ändert sich die Richtung abermals und wird dieselbe, welche auf der Strecke von N bis a vorhanden war. Da nun alle Drahtspulen unter einander in Verbindung stehen, so werden sich alle elektromotorischen Kräfte von einer und derselben Richtung summiren und einen Totalstrom erzeugen dessen Richtung durch die Pfeile in Fig. 96 angedeutet ist. Die zur Aufnahme dieses Stromes am meisten geeigneten Stellen werden daher a und b sein, das heisst, die Contactrollen am Commutator müssen in rechten Winkeln zu der magnetischen Kraft-

1) Wir haben schon gesagt, dass hier ein Mangel an Uebereinstimmung zwischen Text und Abbildung vorliegt.

Digitized by Google

linie des Elektromagnets angebracht werden. Der inducirte Strom ändert seine Richtung, wenn man den Ring in entgegengesetzter Richtung dreht. Wenn man dagegen die Stromsammler am Commutator in der Verbindungslinie der Pole des Elektromagnets anbringen wollte, würden sie bei der Drehung des Ringes keinen Strom erhalten. Brächte man sie etwas zur Seite dieser Linie an, so entstände ein Strom von entgegengesetzter Richtung zu demjenigen Strome, den man erhalten würde, wenn man sie an der anderen Seite jener Linie anbrächte."

Pacinotti hat sich übrigens mit dieser theoretischen Betrachtung seiner Maschine nicht begnügt, sondern er hat theils mit Hülfe eines permanenten Magnets, theils unter galvanischer Magnetisirung des Elektromagnets $A\,B$ durch die mechanische Drehung der Ringarmatur inducirte Ströme erzeugt und durch die Ablenkung der Magnetnadel constatirt, dass die Maschine in dieser Form einen ununterbrochenen Strom von einer und derselben Richtung liefere, ohne dass besondere mechanische Einrichtungen nöthig gewesen wären, um Ströme von entgegengesetzten Richtungen in gleichgerichtete umzuwandeln. Wenn es zu bedauern ist, dass sich in der Abhandlung *Pacinotti's* zwischen seinen Worten und den dieselben erläuternden Abbildungen nicht zu vereinbarende Abweichungen vorfinden, so geht doch aus derselben unzweifelhaft hervor, dass dieser Gelehrte in richtiger Erkenntniss der Mängel der früheren magnet-elektrischen Maschinen, welche Wechselströme lieferten und daher in den meisten Fällen der praktischen Anwendung mit Commutatoren versehen sein mussten, das ganz neue Princip des elektro-magnetischen Ringes aufgestellt, die Wirkungsweise dieses Ringes klar aufgefasst und danach eine elektro-magnetische Machine construirt hat, welche leistungsfähig war; es geht ferner daraus hervor, dass er die Umkehrung dieser Maschine und ihre weitere Ausbildung zu

Digitized by Google

einer magnet-elektrischen angegeben und zur Ausführung gebracht hat, und dass ihm daher die Ehre gebührt, die Ringarmatur erfunden und zuerst praktisch angewandt zu haben.

43. Construction des Gramme'schen Ringes. Die Wichtigkeit und die Tragweite der *Pacinotti*'schen Erfindung gewann erst ihre volle Bedeutung, nachdem im Jahre 1867 *Dr. W. Siemens* das Princip der Umsetzung mechanischer Arbeit in Magnetismus und Elektricität in seinen dynamo-elektrischen Maschinen (§. 34 und 35) zur Ausführung gebracht hatte.

Indessen erst unter dem 10. Juli 1871 kündigte *Jamin*[1]) der französischen Akademie der Wissenschaften an, dass *Gramme* eine neue magnet-elektrische Maschine erfunden habe, welche continuirliche Ströme liefere. Der vorgeschrittenen Zeit wegen musste *Jamin* seinen Vortrag bis zur nächsten Sitzung (17. Juli) verschieben, wo dann die *Gramme*'sche Maschine selbst der Akademie vorgezeigt und erklärt wurde.

Der Hauptbestandtheil der *Gramme*'schen magnet-elektrischen Maschine ist der Ring des *Pacinotti* (§. 42), der jedoch ohne Zweifel von *Gramme* selbständig erfunden und in constructiver Beziehung nicht unwesentlich verbessert worden ist.

Zénobe Théophile Gramme, ein Belgier von Geburt, war in der *Compagnie l'Alliance* (§. 28) als Modellschreiner beschäftigt und besass bereits eine Reihe von Patenten über Regulatoren des elektrischen Lichtes u. s. w., als er, ohne die Abhandlung oder die Maschine von *Pacinotti* zu kennen, zuerst auf die Idee kam, innerhalb eines feststehenden hohlen, mit einem Drahtgewinde umgebenen Eisenringes einen in-

1) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. LXXIII p. 144 und 175.

Digitized by Google

ducirend wirkenden Magnet rotiren zu lassen und dadurch einen ununterbrochenen Strom von derselben Richtung zu erzeugen. Erst später adoptirte er die Einrichtung *Pacinotti's* und liess den Ring zwischen den Polen eines festen Magnets oder Elektromagnets rotiren. In constructiver Beziehung änderte er den Ring des *Pacinotti* unter Beibehaltung der Art und Weise, wie die Drahtspulen aufgewunden und unter einander und mit der Ableitungsstelle verbunden sind, dahin ab, dass er diesen letztern, von *Pacinotti* mit Unrecht Commutator genannten Theil in den die Mitte des Ringes einnehmenden Luftraum verlegte und damit den ganzen rotirenden Theil (Ring und Ableitung) zu einem compacten und fest geschlossenen Ganzen vereinigte, was bei der sehr grossen Rotationsgeschwindigkeit, welche diese Theile annehmen müssen, behufs Vergrösserung der Stabilität und für die dauerhafte Erhaltung der Maschine von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Da wir bereits in §. 10 das Princip und die Wirkungsweise des *Gramme*'schen Ringes in seiner Disposition als magnet-elektrische Armatur in der Hauptsache näher erläutert haben, so können wir sofort in das Detail der Construction des *Gramme*'schen Ringes eintreten.

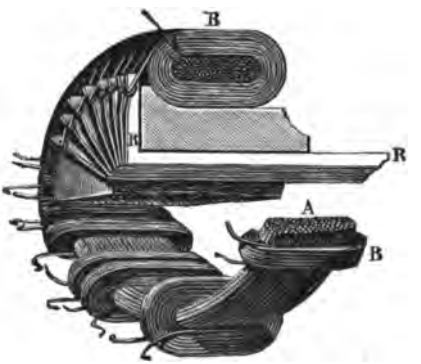
Wir haben schon gesagt, dass die Umwicklung des Ringes von weichem Eisen aus einzelnen dicht aneinander gerückten Rollen eines isolirten Kupferdrahtes besteht, welcher unmittelbar auf den eisernen Kern aufgewickelt wird. Die benachbarten Enden zweier aneinander stossender Drahtrollen werden zusammengelöthet, so dass die sämmtlichen Windungen einen einzigen ununterbrochenen Draht, eine Leitung ohne Ende bilden, welche in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile getheilt wird. Die Anzahl solcher einzelnen Spulen, welche aus 300 und mehr Umwindungen bestehen, ist je nach der Grösse und dem Zwecke der Maschine sehr verschieden; während die kleinen Hand-

Digitized by Google

maschinen deren 30—32 haben, geht ihre Zahl bei den grossen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes bestimmten Maschinen über 100. Die Löthstellen, welche je zwei aufeinander folgende Spulen verbinden, sind gleich weit von einander entfernt und liegen alle auf einer und derselben Seite des Ringes, welche wir die hintere Seite nennen wollen.

Einen Ring dieser Art sehen wir in *A B*, Fig. 97, als den Hauptbestandttheil der in den folgenden Figuren abgebildeten Maschine und zwar mit seinem hintern Theile; zum bessern

Fig. 97.



Construction des Gramme'schen Ringes.

Verständnisse seiner Einrichtung ist in der Figur nur ein Theil gezeichnet worden und einige der unteren Spulen *B* sind von einander gerückt, um ihre Drahtenden sowie den eisernen Kern deutlich sehen zu können. Dieser Kern *A* ist keine massive Eisenstange, sondern wird in der Regel aus einer Reihe gut ausgeglühter Eisendrähte zusammengesetzt, weil er in dieser Form am leichtesten den Magnetismus annimmt und wieder abgibt. Der innere Raum des Ringes wird durch eine Holzscheibe ausgefüllt, die zur Befestigung derjenigen kupfernen Drähte dient, welche jede Löthstelle zur Achse leitet; mit dieser Holzscheibe ist dann

Digitized by Google

der Ring nebst seinen Leitungsdrähten auf der Rotationsachse der Maschine befestigt, wie dieses aus der folgenden Abbildung zu ersehen ist. Die hölzerne Nabe ist leider als wunder Punct der *Gramme*'schen Maschine zu betrachten, da dieselbe sich lockern und dadurch Störungen bedingen kann; obwohl dieser Fehler nur sehr selten beobachtet worden ist, muss doch in dieser Beziehung eine Verbesserung der Maschine durch Wahl eines andern Materials angestrebt werden.

Die Verbindung oder, richtiger ausgedrückt, die Zuleitung jeder einzelnen Drahtspule zu der Achse wird auf folgende Weise ausgeführt. Von jeder Löthstelle der Spule geht auf der hinteren Seite des Ringes ein Kupferdraht *R* radial hinter der Holzscheibe bis nahe an die Rotationsachse herab, ist dann rechtwinkelig umgebogen und geht hierauf durch die Scheibe parallel zur Achse weiter, wo er auf der vorderen Seite des Ringes noch etwa 3—4cm aus der Holzscheibe nach aussen hervorragt. Solcher kupferner Leitdrähte oder Strahlstücke sind demnach ebenso viele vorhanden, als Drahtrollen sich auf dem Ringe befinden; während ihre hinteren Hälften radial zur Achse hinlaufen, wie man es in der Fig. 97 für die acht oberen Spulen deutlich sieht, bilden die mit der Achse parallelen vorderen Hälften einen hohlen Cylinder von kleinem Durchmesser, den sogenannten Collector, durch welchen die Rotationsachse frei hindurchgeht. Die Strahlstücke sind sowohl unter sich als auch von der Achse sorgfältig isolirt, jedoch vermittelst der dieselben leitenden Holzscheibe mit der Achse fest verkuppelt.

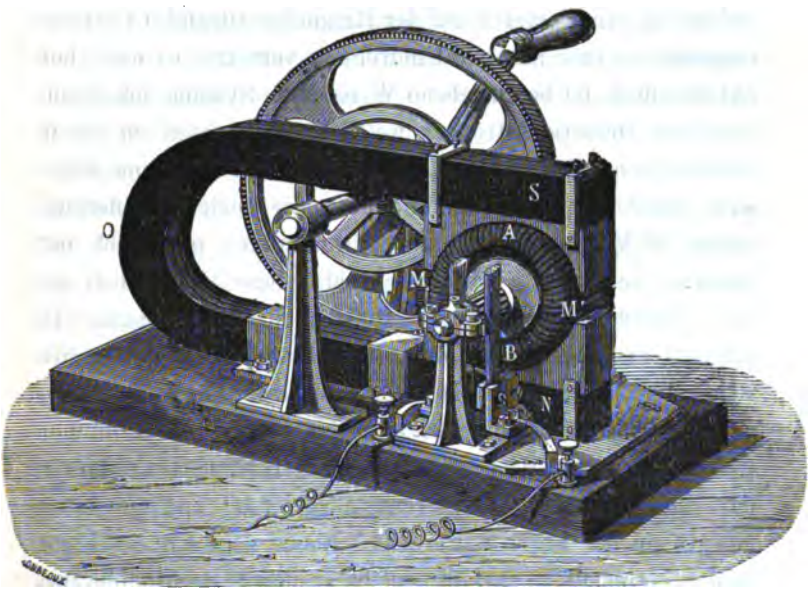
Auf der hinteren Seite des Ringes enthält die Rotationsachse ein Getriebe oder eine Riemenscheibe, auf welche das grössere Triebrad einwirkt, um den Ring in eine rasche Umdrehung zu versetzen, während auf der vorderen Seite die Theile angebracht werden, die dazu bestimmt sind, die entwickelte Elektricität in der Form eines continuirlichen

Digitized by Google

Stromes von unveränderlicher Richtung nach aussen in die Leitung zu führen.

44. Die Gramme'sche Maschine. Die Fig. 98 stellt die Construction einer für den Handbetrieb eingerichteten kleinen *Gramme*'schen Maschine dar, welche eine Stromstärke liefert, die dem Strome von ungefähr drei *Bunsen*'schen Elementen gleichkommt. An derselben erkennt man sofort den Ring AB mit den darauf gewickelten Drahtspulen und den nach vorn

Fig. 98.



Die Gramme'sche Maschine für den Handbetrieb.

heraustretenden, auf der Achse sitzenden, von einander und von der Achse isolirten Strahlstücken. Der aus mehreren Lamellen zusammengesetzte Stahlmagnet ist an seinen beiden Polenden SN mit Schuhen von weichem Eisen versehen, welche halbkreisförmig ausgeschnitten sind und den Ring AB möglichst nahe und weit umfassen, so dass nur ein kleiner Theil desselben an den beiden magnetischen Indifferenz-

Digitized by Google

stellen von der Einwirkung der Polschuhe frei bleibt. Durch Influenz, (Vertheilung, §. 2) erhält die Stelle *A* des Eisenringes, welche dem Südpole *S* am nächsten ist, einen Nordpol, den wir in Fig. 23 und 26 mit *n* bezeichnet haben; ebenso wird die diesem Pole diametral gegenüberliegende Stelle des Ringes durch den Einfluss des Nordpols *N* zu einem Südpole; *M* und *M'* sind daher die beiden magnetischen Indifferenzstellen.

Wird der Ring durch Drehung des grösseren Zahnrades, welches in ein kleineres auf der Ringachse sitzendes Getriebe eingreift, in eine schnelle Umdrehung versetzt, so entstehen auf die im §. 10 beschriebene Weise zwei Systeme entgegengesetzter Inductionsströme, welche nach aussen zu einem continuirlichen Strome von unveränderlicher Richtung abgeleitet werden, wenn man die durch die beiden Indifferenzstellen MM^1 hindurchgehenden Drahtspulen metallisch mit einander verbindet. Anstatt nun alle diese Drahtrollen auf der Oberfläche von der isolirenden Umspinnung zu befreien und den Draht blosszulegen, was offenbar misslich wäre, hat *Gramme* die Drahtenden selbst durch die rechtwinkelig umgebogenen kupfernen Strahlstücke zu einem dünnen Cylinder auf der Achse zusammengeführt, und zwar derart, dass eine durch die Indifferenzstellen MM^1 und die Achse gelegte (in der Figur wagerechte) Ebene zugleich diejenigen beiden Strahlstücke enthält, welche zu den in den Indifferenzstellen befindlichen Drahtrollen gehören. Um also den Strom aus dem Ringe nach aussen abzuleiten, ist nur erforderlich, diese beiden Strahlstücke durch eine Leitung metallisch zu verbinden, worauf die letztere bei der Rotation des Ringes sofort von dem Strome durchflossen wird.

Zu diesem Zwecke bringt *Gramme* zu beiden Seiten der Achse zwei federnde, aus lockeren Kupferfäden zusammengesetzte Drahtbündel (Bürsten oder Besen) an, welche immer genau auf denjenigen Strahlstücken schleifen, die zu

Digitized by Google

den in M und M^1 stehenden Spulen führen. Die Bürstenhalter sind schliesslich durch Metallschienen mit zwei daneben stehenden Klemmen in Verbindung gebracht, von welchen aus die weitere Leitung abgeht. Hierdurch sind alle Bedingungen auf eine ebenso einfache als sichere Weise in Erfüllung gebracht, welche zur Erzeugung eines continuirlichen Stromes erforderlich sind. Diese Continuität des Stromes ist, wie wir bereits gezeigt haben, das Resultat der continuirlichen Bewegung von sehr vielen Drahtrollen, welche wegen der Ringform ihrer Anordnung bei der Drehung um die gemeinschaftliche Achse in Bezug auf die inducirenden äusseren wie inneren Magnetpole in ihrer Gesammtheit eine unveränderliche Lage behalten; dieser Strom wird ferner bei der Drehung des Ringes und bei seiner Ableitung aus der Maschine an keiner Stelle unterbrochen, da die Bürsten so breit, biegsam und elastisch sind, dass sie gleichzeitig gegen ein Paar Strahlstücke anfedern und mit mehreren ihrer Metalldrähte schon das nächste Strahlstück berühren, bevor sie das vorhergehende verlassen haben. Da der Strom ausserhalb des Ringes schon von selbst stets dieselbe Richtung behält, so ist ein Commutator nicht erforderlich, es entstehen daher an den Schleiffedern keine Funken und ein Abbrennen der Contactstellen ist verhütet.

Aus der Figur 26 ist leicht zu ersehen, dass man die Summe aller während einer Rotation erzeugten Ströme, also die grösste Stromstärke, erhält, wenn man die Bürsten so stellt, dass die Verbindungslinie ihrer Schleifstellen senkrecht zu der Verbindungslinie der Magnetpole steht, dass man dagegen gar keinen Strom erhält, wenn jene Linie mit der Pollinie zusammenfällt. Stellt man diese Bürsten näher aneinander, jedoch so, dass ihre Verbindungslinie nicht parallel zu der Pollinie ist, so gibt die Maschine auch dann noch einen Strom, der aber um so schwächer ist, je näher die Reiber aneinander stehen. Die Richtung dieses Stromes

Digitized by Google

ist je nach der Stellung der Bürsten verschieden; stehen diese z. B. auf den zwischen MS und $M'N$ liegenden Strahlstücken, so ist die Richtung des Stromes anders, als wenn sie auf den zwischen SM' und $M'N$ liegenden Strahlstücken aufliegen. Hieraus aber folgt zugleich, dass man durch Anwendung mehrerer Paare von Bürsten von einem und demselben Ringe mehrere Ströme ableiten kann, wie es auch möglich ist, aus einer mehrzelligen galvanischen Batterie mehrere Einzelströme abzuzweigen. Auch ist es selbstverständlich, dass man mehrere vollständige Maschinen durch geeignete Verbindung ihrer Leistungsklemmen sowohl auf Quantität als auf Intensität (Spannung) kuppeln kann.

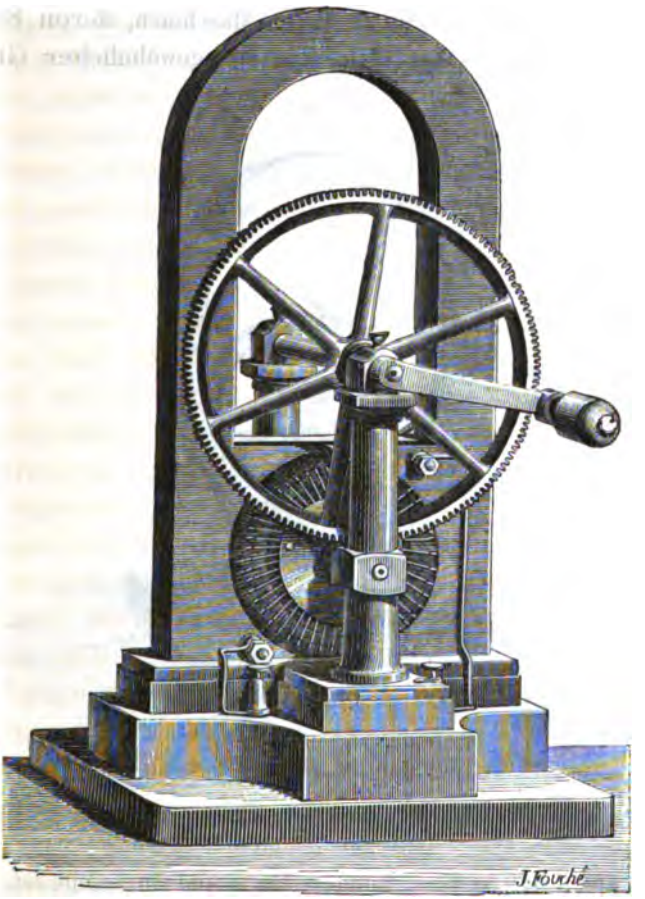
Den letztern Zweck erreicht man jedoch einfacher durch eine geeignete Wahl der Stärke des auf den Ring aufzuwickelnden Drahtes. Im Allgemeinen scheint die Intensität (die Spannung) des Stromes bei gleicher Umdrehungs-Geschwindigkeit der Zahl der Drahtwindungen proportional zu sein; da jedoch der innere Widerstand innerhalb der Maschine in demselben Verhältnisse wächst, so wird man in den meisten Fällen dicke Drähte anwenden, bei welchen die Quantitäts-Effecte grösser sind als bei dünnen Drähten. Wenn jedoch der äussere Widerstand in der Leitung seiner Natur nach sehr gross ist, wie z. B. bei den Telegraphenlinien, so wird man dem dünnen Drahte den Vorzug geben. Uebrigens sind die kleinen, für die physikalischen Cabinette und die chemischen Laboratorien bestimmten *Gramme*'schen Maschinen so eingerichtet, das man den Quantitätsring mit dickem Drahte je nach Bedürfniss durch einen Intensitätsring mit dünnem Drahte auswechseln kann.

45. Die Gramme'schen Maschinen mit Hand- oder Fussbetrieb, die Cabinets-Maschinen werden gegenwärtig von dem durch die Construction von Präcisions-Instrumenten jeder Art weit über Frankreich hinaus berühmten Hause *Bréguet* in Paris angefertigt und sind dazu bestimmt, theils für medi-

Digitized by Google

cinische Zwecke bis zu einem gewissen Grade die Batterien zu ersetzen, theils für den Unterricht in der Physik und der Chemie einen allezeit dienstbereiten Apparat zu besitzen,

Fig. 99.



Gramme'sche Maschine für Handbetrieb.

um ohne weitere Vorbereitung sofort einen galvanischen Strom von der Stärke einer achtzelligen *Bunsen*'schen Batterie zu erzeugen.

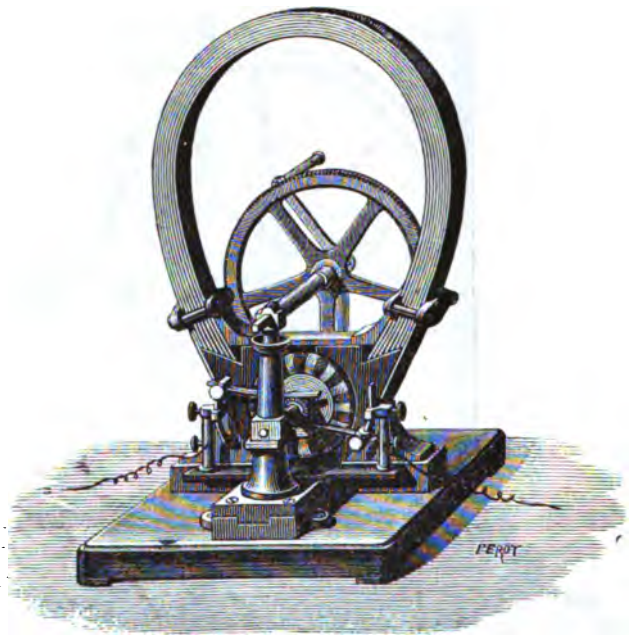
Die ersten Apparate dieser Art, Fig. 99, enthielten einen wagerecht liegenden, auf die hohe Kante gestellten Magnet,

Digitized by Google

und ihre Stromkraft entsprach etwa drei *Bunsen*'schen Elementen. Die Form der Maschine, namentlich der Magnete erlitt verschiedene Abänderungen, und erhielt schliesslich die in Fig. 100 abgebildete Gestalt.

Das Charakteristische an diesen Maschinen, deren Strom mit acht *Bunsen*'schen Elementen von gewöhnlicher Grösse

Fig. 100.



Gramme'sche Handmaschine mit Blättermagnet.

äquivalent ist, ist die besondere Form und Zusammensetzung des Stahlmagnets. Derselbe besteht nach den Angaben von Professor *Jamin* in Paris aus einer grösseren Zahl dünner Stahl-Lamellen, die durch zwei seitliche Klemmschienen fest zusammengepresst sind, an ihren unteren Enden aber etwas auseinandertreten und in massive Polschuhe übergehen, die den Ring beinahe ganz umschliessen. Die Drahtbürsten

Digitized by Google

schleifen wie immer auf denjenigen Strahlstücken, welche zu den in den Indifferenzstellen des Ringes befindlichen Drahtspulen führen, d. h. die Linie ihrer Contactstellen steht senkrecht zu der Linie der Magnetpole.

Jamin fand aus einer Reihe von Versuchen über die Art und Weise, wie der Magnetismus in einer einzelnen Stahl-Lamelle vertheilt ist, dass man diese Vertheilung durch eine aus zwei Zweigen bestehende Curve darstellen könne; die Zweige liegen zwischen der Verbindungslinie beider Pole und zwei hierauf senkrecht stehenden Linien, von denen die eine beispielsweise über dem Nordpole, die andere unter dem Südpole liegt. Wenn er dann auf die erste magnetisirte Lamelle eine zweite legte, nahm die Vertheilungscurve eine weniger concave Form an als früher; bei der dritten Lamelle wurde die Curve noch flacher und das ging so weiter, bis dieselbe bei einer gewissen Anzahl solcher aufeinandergelegter und magnetisirter Stahlblätter in eine gerade Linie überging. *Jamin* nennt diesen Magnet den Normalmagnet; in ihm ist das Maximum des Magnetismus erreicht und eine weitere Hinzufügung von neuen magnetisirten Lamellen gibt keine Verstärkung des Magnetismus. Wenn man jedoch die Pole des Normalmagnets mit Armaturen von weichem Eisen versieht, muss man die Anzahl der einzelnen Lamellen über das Maximum hinaus vermehren, um in den Armaturen denselben Grad des Magnetismus zu erhalten, wie in den Lamellen. Ein so zusammengesetzter Blättermagnet (aimant feuilleté) besitzt eine weit grössere Tragkraft, als ein auf die alte Weise durch Aufeinanderlegen von wenigen und dicken Stahl-Lamellen construirtes magnetisches Magazin.

46. Die Gramme'schen dynamo-elektrischen Grossmaschinen für galvanoplastische Arbeiten. So lange zur Erregung des Stromes Stahlmagnete angewendet wurden, konnte die Stromstärke nicht sehr bedeutend werden, oder man hätte ähn-

Digitized by Google

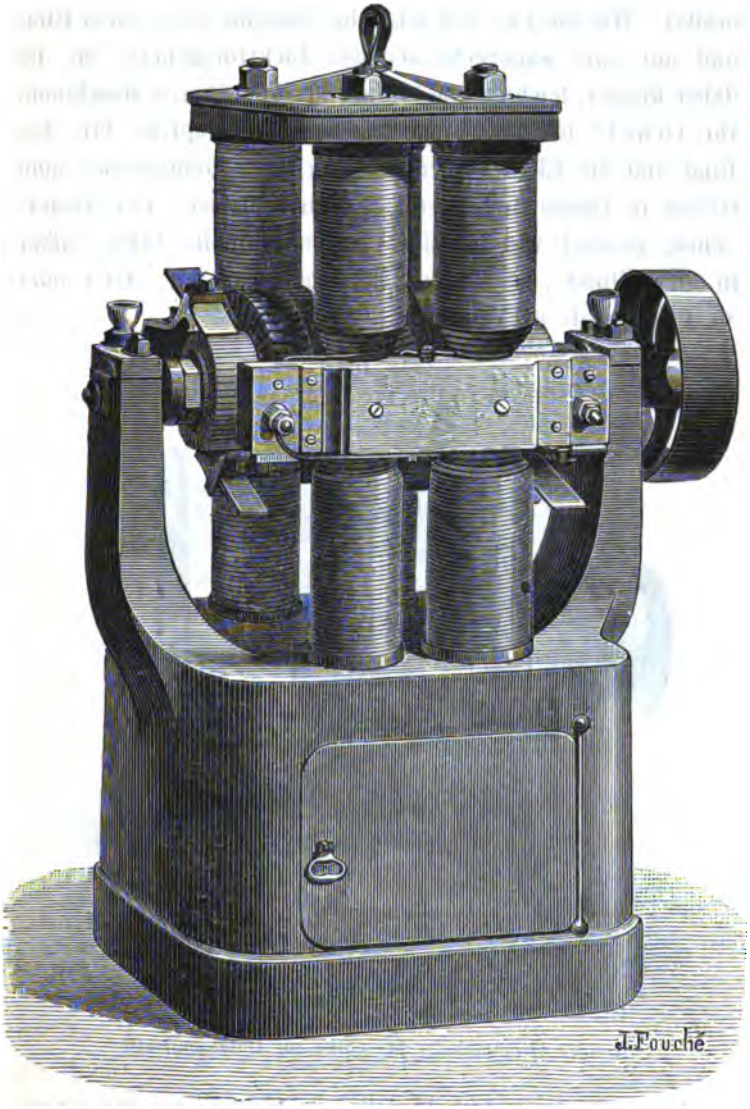
liche Dimensionen annehmen müssen, wie sie die älteren magnet-elektrischen Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* etc. darbieten. *Gramme* ging daher sehr bald dazu über, die Stahlmagnete durch kräftige Elektromagnete zu ersetzen, und verwendete nach dem dynamo-elektrischen Princip (§. 34) einen Theil des von dem Ringe erzeugten Stromes dazu, die Elektromagnete zu erregen. Es ist einleuchtend, dass man statt eines Magnets mit 2 Polen zwei Magnete oder Elektromagnete mit 4 Polen auf die Drahtspulen des Ringes einwirken lassen kann; die Polschuhe lassen dann nur an den 4 Indifferenzstellen einen kleinen freien Raum zwischen sich frei, und diesen Stellen entsprechen dann auch 4 Drahtbürsten, um die Ströme aus dem Ringe in die Leitung abzuführen.

Die erste dynamo-elektrische Grossmaschine wurde von *Gramme* im Jahre 1872 in den Werkstätten von *Bréguet* für das galvanoplastische Institut von *Christofle & Cie.* in Paris gebaut, und sie functionirt zur vollen Zufriedenheit der Besitzer, ohne dass sie irgend einer Reparatur bedürftig gewesen wäre. Schon gegen das Ende desselben Jahres wurden nach derselben Anordnung zehn andere Maschinen auf gusseisernen Gestellen gebaut, von denen das genannte Haus allein sechs Stück ankaufte.

Diese Maschinen haben die in Fig. 101 abgebildete Einrichtung mit 4 Elektromagneten und 2 Ringen. Der eine Ring erzeugt die Ströme zur Erregung der Elektromagnete, während der andere den nutzbaren Arbeitsstrom liefert. Da bei dieser Anordnung das dynamo-elektrische Princip nur zum Theil zur Ausführung gebracht ist, sind die Maschinen gross und schwer; sie wiegen 750kg, und das Gewicht des darin verwandten Kupferdrahtes beträgt 175kg. Sie sind 1,30m hoch, 0,80m breit und liefern einen Niederschlag von 600g Silber in der Stunde; zu ihrem Betriebe ist 1 Pferdekraft erforderlich.

Digitized by Google

Fig. 101.



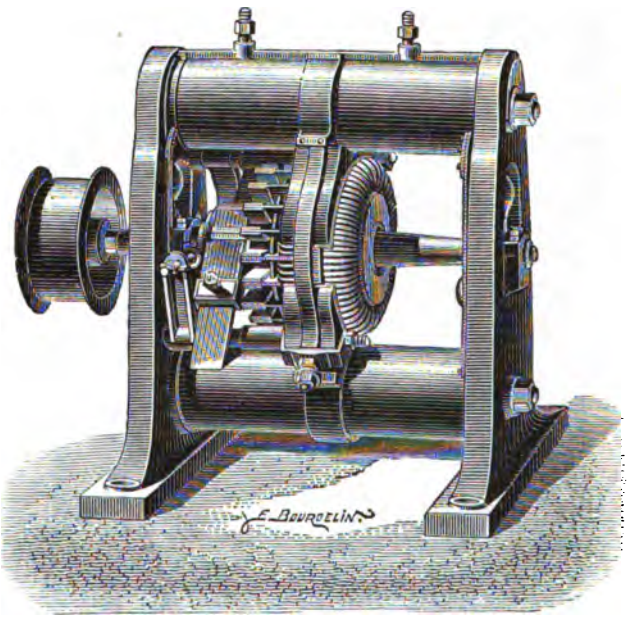
Die Gramme'sche Grossmaschine für Galvanoplastik, altes Modell.

Ende 1873 baute *Gramme* nach einem ganz andern Modell eine neue dynamo-elektrische Ringmaschine für galvano-

Digitized by Google

plastische Arbeiten, die vor der vorigen wesentliche Vorzüge besitzt. Wie die Fig. 102 zeigt, hat dieselbe bloss einen Ring und nur zwei wagerecht liegende Elektromagnete; sie ist daher kleiner, leichter und billiger als die früheren Maschinen. Ihr Gewicht ist nur 177,5kg, das des Kupfers für den Ring und die Elektromagnete 47kg, ihre Dimensionen sind 0,55m in Länge und Breite, 0,60m in Höhe. Der Niederschlag beträgt wie bei der vorigen Maschine 600g Silber in der Stunde; zu ihrem Betriebe sind nur 50kg oder $^2/_3$ Pferdekraft nöthig.

Fig. 102.



Neuere Gramme'sche Maschine für Galvanoplastik.

Verglichen mit dem Modell von 1872 bietet diese neue Maschine, nach welcher seitdem alle übrigen construirt worden sind, folgende Vorzüge: 1) sie beansprucht nur halb so viel Raum; 2) ihr Gewicht beträgt kaum ein Viertel der

Digitized by Google

alten Maschinen; 3) das Gewicht des Kupfers ist ebenfalls nur ein Viertel des frühern, und 4) ihr Nutzeffect ist 30% der ganzen Betriebskraft.

Alle diese Vorzüge wurden erreicht durch den Wegfall des zweiten, die Elektromagnete erregenden Ringes, und dadurch, dass jetzt der Draht des einen Ringes, die Umwindungen des Elektromagnets und die Flüssigkeiten der Zersetzungszelle eine einzige Leitung bilden. Statt der runden Drähte, mit welchen früher die Eisenkerne der Elektromagnete umwickelt wurden, ist hier jede Hälfte eines Elektromagnets mit einem breiten, den ganzen Umfang des eisernen Kerns umfassenden Kupferblech umgeben, so dass die ganze Kupferbewickelung der Elektromagnete nur aus 4 flachen Kupferbändern besteht.

Da es bei den für galvanoplastische Zwecke bestimmten Maschinen mehr auf die Quantität, als auf Spannung der Elektricität ankommt, so bestehen die Drahtrollen des Ringes aus einem halbflachen, sehr dicken Drahte, der stark genug ist, um der Einwirkung der Centrifugalkraft zu widerstehen, ungeachtet der 500 Touren in der Minute, welche der Ring macht, gegen 300 bei den früheren Maschinen. Weder der Ring noch die Elektromagnete erwärmen sich dabei merklich und es findet kein Funkensprühen an den Berührungsstellen der Bürsten statt.

Das eiserne Gerüst der neuen Maschine ist sehr fest; die wenig belastete Stahlachse hat an ihren freien Enden nur einen kleinen Durchmesser, was zur Verminderung der Reibung erheblich beiträgt, und die mit den Magnetpolen sehr fest verbundenen Armaturen von weichem Eisen umfassen fast den ganzen Umfang des Ringes.

Das dynamo-elektrische Princip, den Strom des Ring-Inductors auf den Elektromagnet und diesen wieder auf die Drähte des Ringes einwirken zu lassen, ist bei diesen Maschinen vollständig durchgeführt, aber eben durch diese Ein-

Digitized by Google

schaltung des Elektromagnets in die Gesammtleitung entsteht unter Umständen ein Stromwechsel, der dem Betriebe der Maschine sehr hinderlich ist und daher beseitigt werden muss. Es muss alsdann ein automatischer Stromunterbrecher (s. A. XV) eingeschaltet werden, der den Strom selbstthätig unterbricht und die Elektromagnete von der Leitung trennt, wenn aus irgend einem Grunde die Stromstärke abnimmt und ein Stillstehen der Maschine und damit ein aus den Bädern kommender Gegenstrom eintreten sollte. Dies führt aber zu complicirten Einrichtungen, welche man möglichst vermeiden muss.

47. Die Gramme'schen dynamo-elektrischen Grossmaschinen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes; die Lichtmaschinen. Es ist eine bekannte Thatsache, dass bei dem Durchgange eines galvanischen Stromes durch einen Leiter ein Theil der Elektricität sich in Wärme umsetzt und die Temperatur des Leiters erhöht wird. Diese Temperatur-Erhöhung wächst innerhalb gewisser Grenzen mit dem Widerstande, welchen der Strom auf seinem Wege erfährt, und wird unter Umständen so gross, dass der Leiter dadurch weissglühend wird. Schaltet man in den metallischen Kreislauf einer starken galvanischen Batterie zwei zugespitzte Kohlenstäbchen derart ein, dass die Enden der beiden von den Batteriepolen ausgehenden Metalldrähte je mit einem Stäbchen verbunden sind, so erhöht sich die Temperatur der Kohlenspitzen bis zum Glühen; entfernt man sie dann nur sehr wenig von einander, so wird der Strom nicht unterbrochen, sondern es bildet sich zwischen den Kohlenspitzen eine Brücke von glühenden Kohlentheilchen, welche vorzugsweise von der positiven Elektrode zur negativen übergeführt werden; auf dieser zwischen den Kohlenstäbchen in der Luft sich bildenden Flamme von leitender Substanz kann der Strom in bedeutender Stärke so lange fortbestehen, als der Luftraum zwischen den Kohlenspitzen nicht gar zu gross ist.

Digitized by Google

Wegen des enormen Widerstandes, den der Strom auf der genannten, mit glühenden und von einander getrennten Kohlenstäbchen angefüllten Luftstrecke erfährt, setzt sich eine sehr bedeutende Elektricitätsmenge in Wärme um, so dass die Luft und die Kohlentheilchen weissglühend werden und letztere ein blendendes Licht, das elektrische Licht, ausstrahlen. Man nennt diese Garbe weissen Lichtes den elektrischen oder *Volta*'schen Flammenbogen, und wir kommen auf die Eigenschaften desselben später in dem Abschnitte VIII nochmals zurück.

Die Stärke des elektrischen Lichtes hängt bei denselben Kohlenstäbchen von der Strecke ab, auf welche man die Elektroden von einander entfernen kann, ohne dass das Licht erlöscht. Um also ein sehr intensives Licht zu erzeugen, muss der Flammenbogen möglichst gross sein; dadurch wächst aber der Widerstand in der Leitung so bedeutend, dass es nur den Strömen von sehr hoher Spannung gelingt, denselben zu überwinden.

Man sieht hieraus, dass es verkehrt war, wie es früher öfter versucht worden ist, zur Erzeugung des elektrischen Lichtes Batterien oder magnet-elektrische Rotationsapparate von grosser Quantität aber von verhältnissmässig kleiner Spannung anzuwenden; auch die *Gramme*'schen Maschinen müssen aus diesem Grunde eine verschiedene Construction erhalten, je nachdem sie zu galvanoplastischen Arbeiten oder zur Erzeugung des elektrischen Lichtes dienen sollen.

Nach dem *Ohm*'schen Gesetze ist bei einem gegebenen stromerzeugenden Apparate die Stromstärke am grössten, wenn der äussere Widerstand in der Leitung gleich dem innern Widerstande im Apparate ist. Zur Entwickelung eines intensiven Lichtes muss daher der Widerstand in dem *Gramme*'schen Ringe sehr bedeutend sein, das heisst, der Draht, mit welchem der Eisenkern umwickelt wird, muss viel dünner sein, als es bei den vorhin beschriebenen Ma-

Digitized by Google

schinen der Fall ist, und aus diesem dünnen Drahte müssen dann möglichst viele Umwindungen gemacht werden. Ausserdem muss die Geschwindigkeit der Drehung beträchtlich erhöht werden, um in der Zeiteinheit möglichst viel mechanische Arbeit in Elektricität und diese wieder in Wärme des Flammenbogens umzusetzen.

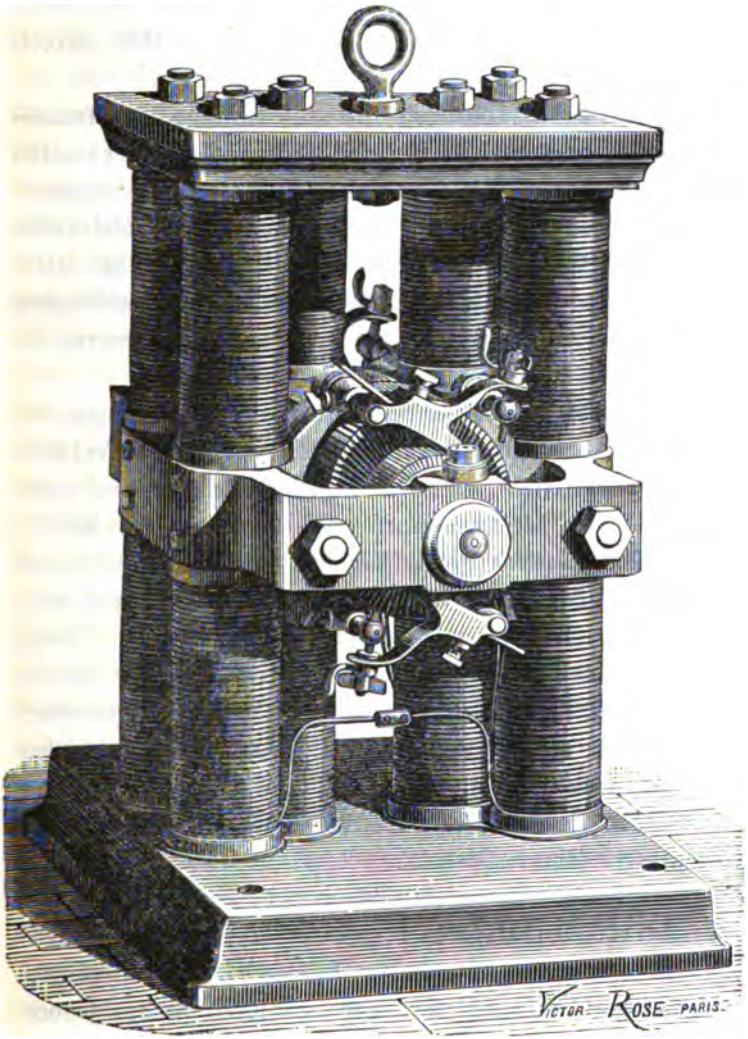
Die erste von *Gramme* gebaute Lichtmaschine gab ein Licht von 900 Carcel-Brennern; sie wog 1000kg, hatte drei rotirende Ringe und sechs Elektromagnete. Der Strom des einen Ringes diente zur Erregung der Elektromagnete, die beiden anderen Ringe lieferten den nutzbaren Strom für das Licht. Der Kupferdraht der Elektromagnete wog 250kg, der Draht der drei Ringe 75kg; zur Aufstellung der Maschine war ein Platz von 0,80m in Länge und Breite und von 1,25m in der Höhe erforderlich. Sie hat längere Zeit zu Versuchen auf dem Thurme von Westminster in London gedient und arbeitet noch heute ganz gut, obgleich sie sich während des Betriebes ein wenig erwärmt und ein leichtes Funkensprühen zwischen den ableitenden Drahtbürsten und den rotirenden Strahlstücken des Ringes zeigt.

Da von verschiedenen Seiten keine grössere Lichtstärke als 500 Carcel-Brenner verlangt wurde, konnte *Gramme* die Dimensionen der neuen Maschine etwas verringern und damit zugleich die Erwärmung des Ringes und die Funkenbildung beseitigen. Eine derartige Maschine ist in Figur 103 abgebildet. Dieselbe hat immer noch sechs aufrecht stehende Elektromagnete, die aber nicht in zwei geraden Linien, sondern im Dreiecke aufgestellt sind, dagegen sind nur zwei Ringe vorhanden, die je nach Bedürfniss gestatten, den ganzen Strom durch die Elektromagnete zu senden, oder den einen Ring zur Erregung der Elektromagnete und den andern zur Erzeugung des Arbeitsstromes für das elektrische Licht zu verwenden, oder auch zwei ganz getrennte Lichter zu erzeugen.

Digitized by Google

In dieser Construction wiegt die Maschine 700kg; die Drähte der Elektromagnete wiegen 180kg, die der beiden

Fig. 103.



Gramme's grosse Lichtmaschine mit zwei Ringen.

Ringe 40kg; sie ist 0,65m lang und breit, 0,90m hoch und

Digitized by Google

gibt eine normale Lichtstärke von 550 Carcel-Brennern, welche jedoch versuchsweise durch Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit auf das Doppelte gebracht worden ist. Benutzt man jeden Ring zur Herstellung eines besondern Lichtes, so erhält man zwei Lichter von je 150 Carcel-Brennern.

Die Maschinen befinden sich auf Schiffen der französischen und russischen Marine und werden in anderen Staaten für den Festungsdienst verwendet. Bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 400 Touren in der Minute findet weder eine nachtheilige Erwärmung noch ein Funkensprühen statt; das Licht hat jedoch nicht Kraft genug, um bei nebeligem Wetter die Luft auf eine hinreichend grosse Entfernung zu durchdringen.

Auch diesem Uebelstande wusste *Gramme* zu begegnen; nach einem sorgfältigen Studium aller einschlägigen Verhältnisse und auf Grund seiner zahlreichen Erfahrungen baute er seine neuen Lichtmaschinen nach einem andern Modell, bei welchem, ähnlich wie in Fig. 103, das Gerüst aus zwei gusseisernen, durch vier starke schmiedeeiserne Quercylinder mit einander verbundenen Seitenständern besteht. Diese letzteren bilden die Kerne von vier Elektromagneten, welche wieder mit kreisförmig ausgeschnittenen Armaturen versehen sind und mit diesen verlängerten Polschuhen den rotirenden Ring fast ganz umschliessen.

Auf den eisernen Kern des Ringes ist nicht, wie in den vorhin beschriebenen Maschinen, bloss ein Draht in mehreren Spulen aufgewickelt, sondern das System der den Kern umgebenden 120 Drahtspulen besteht aus einem Doppeldrahte von gleicher Länge. Die beiden Drähte jeder Spule werden in parallelen Lagen auf den Kern gewickelt, gehen jedoch zu den beiden entgegengesetzten Seiten des Ringes in die bekannten Strahlstücke über, so dass von den 120 einzelnen Spulen die Hälfte auf der vorderen, die andere Hälfte auf

Digitized by Google

der hinteren Seite des Ringes in die entsprechenden Strahlstücke übergeht. Dem entsprechend befinden sich auch auf jeder Ringseite ein Paar ableitender Drahtbürsten, deren im Ganzen also vier vorhanden sind.

Die Elektromagnete sind mit ihren Umwindungen in der von dem Ringe herkommenden Stromleitung eingeschlossen; in der Maschine ist also das Princip der dynamo-elektrischen Stromvertheilung vollständig durchgeführt.

Die Maschine ist einschliesslich der Riemenscheibe 0,8 m lang, 0,550 m breit und 0,585 m hoch; sie wiegt 400 kg; der Ring hat einen äussern Durchmesser von 0,230 m und trägt 14 kg Kupferdraht. Die eisernen Kerne der Elektromagnete haben einen Durchmesser von 0,07 m und eine Länge von 0,404 m; der darauf aufgewickelte Draht wiegt 96 kg.

Bei der eigenthümlichen Art, wie der Draht auf den Ring gewickelt ist, verhält sich letzterer wie ein Doppelring mit zwei vollständig von einander isolirten und zu beiden Seiten des Ringes befindlichen Spulen; beide Spulsysteme lassen sich durch eine einfache Schaltung auf Quantität (nebeneinander) oder auf Intensität (hintereinander) kuppeln. Im letztern Falle geben sie bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 700 Touren in der Minute eine Lichtstärke von 800 Carcel-Brennern; auf Quantität gekuppelt, steigt die Lichtstärke bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 1350 Touren in der Minute auf 2000 Carcel-Brenner.

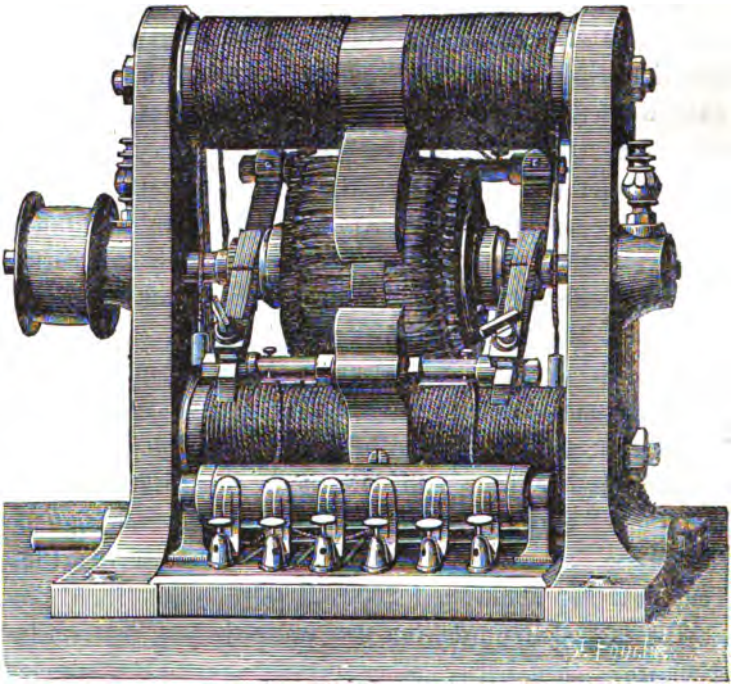
Dieses Modell wurde von den französischen, österreichischen, russischen, norwegischen, türkischen u. a. Regierungen adoptirt und überall als zweckmässig anerkannt. In neuester Zeit sind nach einem ähnlichen, noch vortheilhaftern Modell Maschinen gebaut worden, welche die enorme Lichtstärke von 5000 Carcel-Brennern oder von 35 000 Normal-Paraffinkerzen geben.

Auch diese Construction hat *Gramme* dadurch vereinfacht und in kleineren Dimensionen ausgeführt, dass er nur zwei

Digitized by Google

Elektromagnete anwandte, dagegen den Doppelring mit zweiseitiger Ableitung der Ströme durch zwei Paar Bürsten beibehielt. Die Figur 104 zeigt eine solche Maschine von 183 kg Totalgewicht; der Kupferdraht für die Elektromagnete und den Ring zusammen wiegt nur 47 kg; ihre Länge und Breite ist 0,53 m, die Höhe 0,60 m. Bei normalem Betriebe liefert sie ein Licht von 200 Carcel-Brennern; sie kann

Fig. 104.



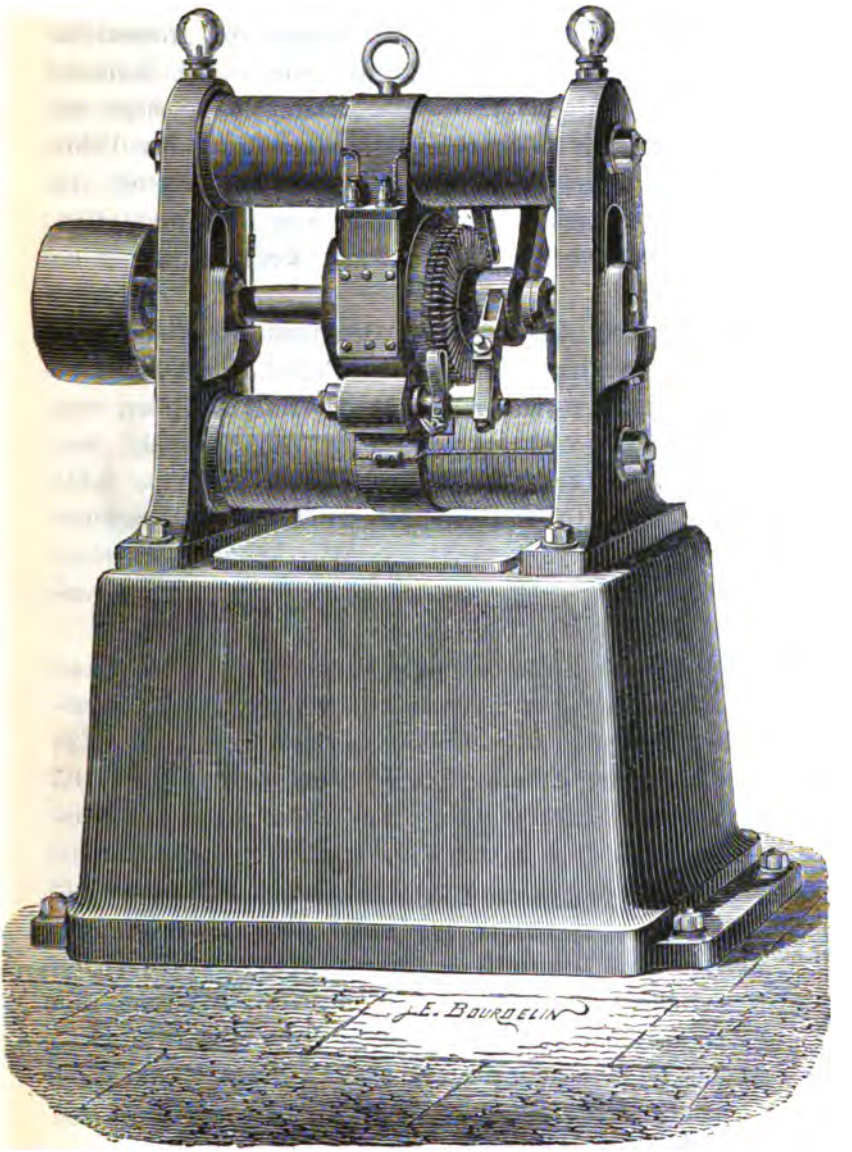
Gramme'sche Lichtmaschine mit Doppelring.

jedoch auf kurze Zeit weit darüber hinausgehen. Auch bei dieser Construction kann man vermittelst eines am Fussgestelle angebrachten Umschalters die beiden Hälften der Maschine nach Belieben auf Quantität oder auf Spannung kuppeln; auch lassen sich die beiden Hälften zur Erzeugung

Digitized by Google

zweier völlig von einander unabhängiger elektrischer Lichter verwenden.

Fig. 105.



Einfachste Gramme'sche Lichtmaschine (type normal).

Digitized by Google

Die höchste Vereinfachung erhält die *Gramme*'sche Maschine, wenn man ihr nur zwei Elektromagnete und einen Ring gibt, wie es für viele industrielle Zwecke sowohl der Galvanoplastik als auch der Beleuchtung von grossen Fabriksräumen, offenen Hallen, Arbeitsplätzen u. s. w. hinreicht. Die Figur 105 zeigt eine solche Maschine; sie wiegt nur 180kg bei einer Höhe von 0,60m, einer Breite von 0,35m und einer Länge (einschliesslich der Riemenscheibe) von 0,65m. Der Sockel wiegt 120kg bei einer Höhe von 0,40m; die Elektromagnete enthalten 28kg, der Ring nur 4,5kg Kupferdraht.

Ungeachtet dieses geringen Quantums von Kupferdraht und bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit, die 900 Touren in der Minute nicht überschreitet, gibt die Maschine, wenn das Licht unter einem bestimmten Winkel einfällt, ohne einen Schirm oder einen Reflector anzuwenden, eine Lichtstärke von 1440 Carcel-Brennern, wobei die Kohlenspitzen genau einander gegenüberstehen. Wir werden später sehen, dass bei etwas schräg gestellten Kohlenspitzen die verwendbare Lichtstärke noch grösser ist.

Jüngst hat *Gramme* neue Modelle seiner Maschinen geschaffen, welche zur Speisung mehrerer Lampen mit *Volta*'schem Lichtbogen in einem Stromkreise dienen. Im Allgemeinen ist ihre Anordnung derjenigen der in Figur 105 abgebildeten Maschine gleich; nur ergibt sich aus den Bedingungen für den maximalen Nutzeffect:[1]) „der innere Widerstand sei kleiner als der äussere Widerstand", „die elektromotorische Kraft der Maschine sei gleich dem Doppelten einer elektromotorischen Gegenkraft", eine andere Wicklung des Inductors. Die Elektromagnete werden in diesem Falle durch besondere dynamo-elektrische Maschinen erregt, wodurch, wie später

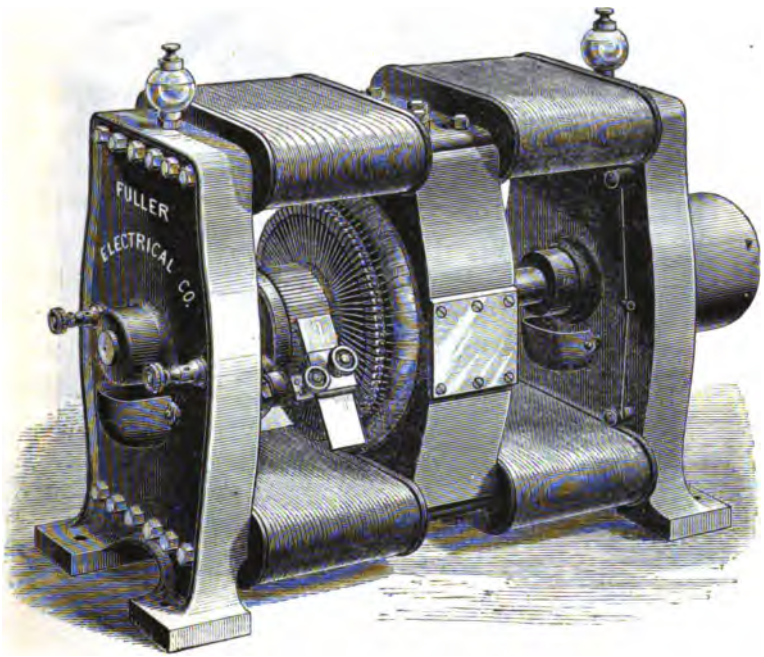
1) Siehe die XIV. Abtheilung.

Digitized by Google

näher erörtert wird, noch besondere Vortheile erwachsen. *Gramme* stellte auf der Pariser Ausstellung im Jahre 1881 Maschinen für 5, 10 und 20 Lampen aus; insbesondere hat die Maschine für 5 Lampen ein elegantes und dabei solides Aeussere und bei ihr beträgt die Lichtstärke einer jeden Lampe 150 Carcel-Brenner, während die Unkosten für Kohlen pro Stunde und Lampe 0,15 Fr. betragen. Nach Belieben kann die Maschine 1, 2, 3, 4 oder 5 Lampen speisen; es genügt dazu, die Tourenzahl der Maschine und gleichzeitig den Widerstand des äussern Stromkreises in entsprechender Weise abzuändern.

Wir geben endlich in Fig. 106 noch eine Abbildung der

Fig. 106.



Fuller-Gramme-Maschine.

Gramme-Maschine, wie sie in America von der *Fuller Electrical Company* gebaut wird und die sich durch möglichst ein-

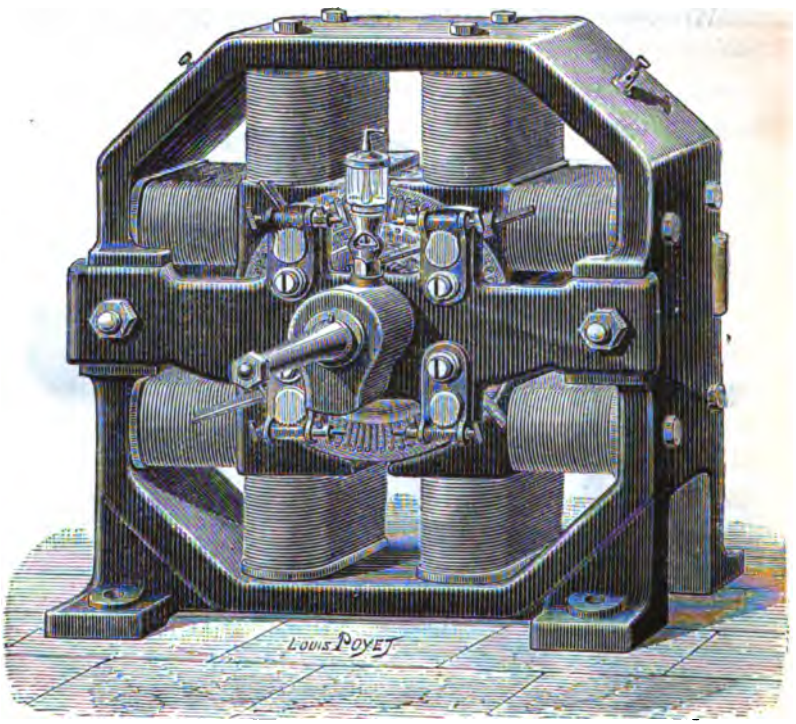
Digitized by Google

fachen, gedrängten und soliden Bau auszeichnet. Namentlich haben die Elektromagnete eine besondere flache Form.

Ganz besondere Arten von dynamo-elektrischen Maschinen, welche eine grosse Bedeutung und Verwendung finden werden, sind

48. Die Maschinen für elektrische Kraftübertragung. Die von *Gramme* verfertigten werden durch Figur 107 dargestellt. Einen noch deutlichern Einblick in die Construction derselben gewinnen wir durch die Fig. 108 und 109, von denen Fig. 108 die Maschine im Längsschnitt und Fig. 109 in der

Fig. 107.



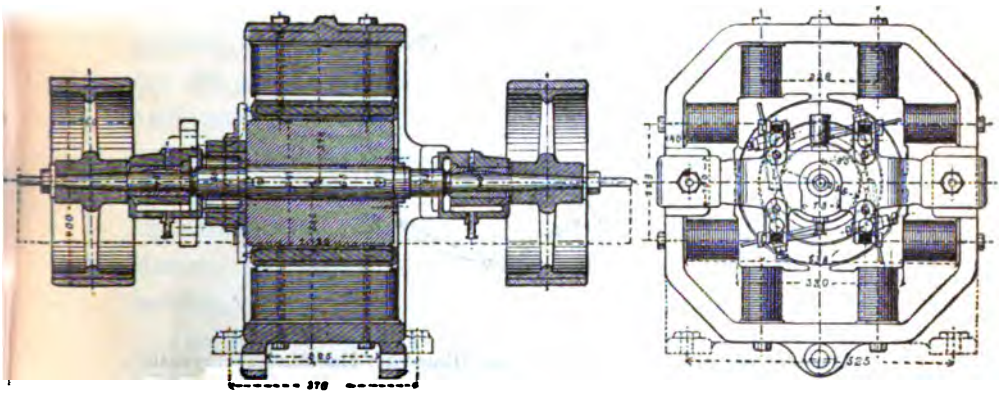
Gramme's Maschine für die elektrische Kraftübertragung. (M. octogonale.)

Vorderansicht darstellt. Das aus einem einzigen Stücke gegossene Gerüst umhüllt die wesentlichen Theile, wodurch

Digitized by Google

die Maschine sehr solid und vor Beschädigungen geschützt ist. Aus Fig. 109 ersieht man, wie vier Gruppen Elektromagnete radial zum Ringe stehen und mit Armaturen versehen sind, welche die äussere Oberfläche des Ringes beinahe vollständig umfassen. Die vier Pole derselben sind abwechselnd entgegengesetzte und erzeugen in dem Ringe selbst

Fig. 108. Fig. 109.



Gramme's Maschine für elektrische Kraftübertragung.

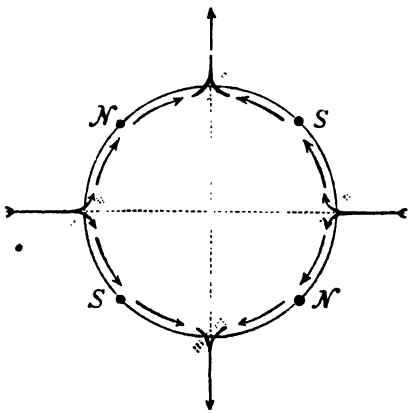
vier Pole, welche ungeachtet der Bewegung des Ringes immer den Inductionspolen gegenüberbleiben. Durch die gleichzeitige Wirkung der Inductionspole und der inducirten Pole (s. §. 10) entwickeln sich in den Kupferspiralen des Ringes elektrische Ströme (s. Fig. 110) von solcher Richtung, dass zwei derselben von den oben und unten anliegenden Bürsten ausgehen, den gegebenen äussern Widerstand durchlaufen und schliesslich in die links und rechts liegenden Bürsten zurückströmen. Die Dimensionen der Maschine ergeben sich aus den Figuren 108 und 109; weitere Details über die Anwendung derselben werden in der Abth. XVI, welche über die elektrische Kraftübertragung handelt, mitgetheilt werden.

49. Die Mängel der Gramme'schen Maschine. Bei allen Vorzügen, welche die beschriebenen *Gramme*'schen Ring-

Digitized by Google

maschinen besitzen und durch die sie sich vor den älteren, mit einem Commutator behafteten Maschinen auszeichnen, leiden dieselben doch an gewissen Mängeln, die in der Construction ihres wesentlichsten Organs, des Ringes, ihren

Fig. 110.



Kreislauf der Ströme im Gramme'schen Ringe der Maschine „octogonale".

Grund haben. Diese Unvollkommenheiten bestehen hauptsächlich in der verhältnissmässig geringen Ausnutzung des den Ring bildenden Kupferdrahtes und in der Erwärmung des Ringes und der Elektromagnete.

Aus dem, was wir über die inducirende Wirkung der äusseren festen Magnetpole auf die unter ihnen wegrotirenden Drahtspulen gesagt haben, folgt, dass diese Wirkung fast ausschliesslich auf die eine (äussere) Seite der Drahtbewicklung stattfindet, da nur diese in den wirksamen Theil des magnetischen Feldes der festen Pole gebracht wird, die andere (innere) Seite aber so wie die Seitentheile der Drahtspulen während der Rotation des Ringes von diesen äusseren Magnetpolen fast ganz unbeeinflusst bleiben. Aehnliches gilt auch von der Einwirkung der beiden in dem Eisenringe durch Influenz sich bildenden Magnetpole auf die Drahtspirale, insofern dieselben offenbar nicht in der Mitte der

Digitized by Google

Eisenmasse, sondern aus dieser Mitte heraus- und den äusseren festen Polen nähergerückt, ja vielleicht dem äussern Umfange der Ringmasse sehr nahe liegen.

Dadurch kommt es, dass bei der Ringform des Inductors und der Art seiner Drahtbewicklung nur der kleinere Theil der Windungen einer Spule, welcher jedesmal zwischen einem äussern Pole und dem Ringkerne liegt, der directen Induction ausgesetzt ist. Doch darf man diesen Umstand nicht überschätzen. Der grösste Theil der Induction rührt nicht her von der directen Wirkung der Magnetpole auf die Drahtwindungen, sondern von der indirecten Wirkung des entstehenden und verschwindenden Magnetismus im rotirenden Eisenring, und dieser Wirkung unterliegt auch die äussere Drahtbewicklung allerdings in erheblich abgeschwächtem Maasse, da der Magnetismus doch auf der inneren Seite des Ringes vorzugsweise angehäuft ist.

Die Erwärmung der Maschine rührt aus verschiedenen Ursachen her. Zunächst erzeugt jeder Strom, der durch einen Leiter fliesst, dadurch, dass er den molekularen Widerstand der leitenden Substanz überwinden muss, in dem Leiter eine Erwärmung, indem sich ein Theil derjenigen Molekülbewegung, welche den Strom bildet, in diejenige Form der Molekülbewegung umsetzt, welche wir Wärme nennen. Es ist bekannt, dass dünne Platin- und Eisendrähte, welche in den Schliessungsdraht eines starken Stromes eingeschaltet werden, sich bis zum Weissglühen erhitzen, und der die höchste Hitze liefernde *Volta*'sche Flammenbogen, welcher unter der Einwirkung einer sehr kräftigen galvanischen Batterie zwischen zwei Kohlenspitzen entsteht, wird ebenfalls nur durch den molekularen Widerstand erzeugt, welchen die schlecht leitende Luft dem Durchgange des Stromes entgegensetzt. In der *Gramme*'schen Maschine müssen daher, wie in jedem Schliessungsdrahte, die sämmtlichen Drähte, durch welche der Strom fliesst, um so stärker sich erwärmen,

Digitized by Google

je stärker der durch die Rotation des Ringes erzeugte Strom ist. Diese Temperatur-Erhöhung wird jedoch in dem *Gramme*'schen Ringe noch dadurch gesteigert, dass in einem Theile der Drähte gar kein Strom erzeugt wird und die den magnetischen Indifferenzstellen nahe liegenden Spulen nur sehr schwache Ströme erhalten. Der von der Summe aller Partialströme zu überwindende Drahtwiderstand und in Folge hiervon auch die Erwärmung der Drähte ist daher erheblich gross.

Eine andere Quelle fortwährender Wärme-Erzeugung liegt darin, dass durch die ununterbrochene Verschiebung der beiden im Ringkerne inducirten Magnetpole von einem Eisenstücke auf ein anderes während der Arbeit der Maschine unausgesetzt die Eisenmoleküle des Ringes in Bewegung erhalten werden und ein Theil dieser Molekular-Arbeit sich als Magnetismus, ein anderer Theil aber sich als Wärme darstellt. Ausserdem aber wird bei jeder Umdrehung des Ringes jede Stelle desselben einmal nordmagnetisch und gleich darauf südmagnetisch, was wieder nur unter Wirkung der von aussen in die Maschine hineinkommenden Arbeit und einer Umsetzung derselben in Molekularbewegung, d. h. unter Erzeugung von Wärme vor sich gehen kann. Macht der Ring in der Minute 1000 Umläufe, so muss dieser Polwechsel in $\frac{1}{2000}$ Minute erfolgen; diese Zeit ist aber zu kurz, als dass der vorhandene Magnetismus weichen und dem entgegengesetzten Platz machen könnte; die Folge hiervon aber ist die, dass ein Theil der vorhandenen magnetischen Molekularbewegung mit der neu und entgegengesetzt sich entwickelnden in Conflict geräth und nicht bloss eine schädliche Schwächung der zu bildenden Pole, sondern auch eine erhöhte Molekularbewegung in der Form von Wärme entsteht. Es geschieht hier ganz dasselbe, was bei den magnetelektrischen Rotationsmaschinen eintritt, wenn man die gegenseitige Anziehung der festen Magnetpole und der eisernen

Digitized by Google

Kerne der Inductorrollen durch eine äussere Arbeit überwinden muss, um die Rotation der letzteren zu Stande zu bringen.

Gramme sucht den zuletzt genannten Uebelstand, dass der Magnetismus im weichen Eisen nicht plötzlich verschwindet, sondern zu seinem Verschwinden und seinem Umsetzen in die entgegengesetzte Polarität einer gewissen Zeit bedarf, dadurch zu beseitigen, dass er den Eisenkern des Ringes nicht massiv macht, sondern ihn aus einzelnen gut ausgeglühten Eisendrähten zusammensetzt (Fig. 97); es wird dadurch die Trägheit des Magnetismus allerdings verkleinert, aber nicht ganz aufgehoben.

Rechnet man zu diesen Ursachen der Erwärmung noch die Umsetzung derjenigen Ströme in Wärme hinzu, welche in metallischen Leitern überall da entstehen, wo diese sich in einem magnetischen Felde bewegen (*Foucault*'sche Ströme; Erhitzung einer Kupferplatte, welche im magnetischen Felde rotirt u. s. w.), so ist leicht begreiflich, dass bei den grossen Maschinen, welche viele Drahtwindungen enthalten und deren Elektromagnete unter der Einwirkung des dynamo-elektrischen Princips eine sehr bedeutende Kraft erlangen, in Folge der sehr grossen Umdrehungsgeschwindigkeit des Ringes sich die Spuldrähte bis zum Glühen und zum Verkohlen der isolirenden Umhüllung und der Zwischenschichten erhitzen können.

In dieser Temperatur-Erhöhung liegt bei allen magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen die Grenze für die Dimensionen, welche man denselben geben kann. Bestände diese Schranke nicht, könnte man alle mechanische Arbeit, welche zum Umtriebe der Rotationsachse von aussen in die Maschine hineingebracht wird, ausschliesslich in Magnetismus und in Elektricität umsetzen, so könnte man diese Classe von Maschinen in den grössten Dimensionen ausführen und würde dann in denselben eine unerschöpfliche Quelle von

Digitized by Google

Magnetismus und elektrischer Strömung in einer Stärke besitzen, von welcher wir gegenwärtig nur eine sehr beschränkte Ahnung haben.

Die Erkenntniss dieser Mängel, welche der *Gramme*'schen Maschine, aber mehr oder weniger auch den übrigen magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen anhangen, hat bereits in mehrfacher Beziehung zu ihrer Beseitigung geführt. *Gramme* selbst arbeitete mit unermüdlichem Eifer an der Vervollkommnung seiner Maschinen; dass seine Bemühungen von Erfolg begleitet sind, geht insbesondere aus dem Berichte der Militär-Ingenieur-Schule in Chatham hervor, welche in folgender Weise die Vorzüge und Nachtheile der neueren *Gramme*'schen Maschinen zusammenstellt.

„*Gramme,* Modell *D.*

Vorzüge:

1. Dieser Stromerzeuger gibt ein bedeutend kräftigeres Licht als jede andere der versuchten Maschinen.

2. Die Bedienung der Maschine kann auch weniger geübten Leuten anvertraut werden, ohne befürchten zu müssen, dass die Drähte durch Erwärmung oder Funkenbildung leiden.

3. Bei einem sechsstündigen continuirlichen Betrieb unter denselben Bedingungen, wie bei den zwei *Siemens*-Maschinen neben einander eingeschaltet, und mit einem Strome von 67,44 *Ampère*[1]) stieg die Temperatur der Drähte nur um 71° *F.* Unter den gleichen Bedingungen stieg die Temperatur der Trommel der *Siemens*'schen Maschinen um 110° *F.* und der Elektromagnete um 85° F. bei einer Stromstärke von 64,35 *Ampère.* Die Elektromagnete der *Gramme*'schen Maschine erwärmen sich stärker als der rotirende Ring, so dass man die Maximal-Erhöhung der Temperatur beobachten kann, ohne die Maschine anhalten zu müssen.

4. Fehlen der Funken. Die Funkenbildung an den Bürsten ist ausserordentlich schwach und oft unbemerkbar; es ist in Folge dessen die Abnutzung des Stromsammlers und der Bürsten ausserordentlich gering. Die Bürsten sind leicht in ihre richtige Lage zu bringen und sind dabei so angeordnet, dass man sie, wenn dies erforderlich erscheint, in der Längsrichtung des Stromsammlers verschieben kann.

---

1) Bei einer Stromstärke von 71,06 *Ampère* trat in sechsstündigem Betrieb eine Temperatur-Erhöhung von 110° ein.

Digitized by Google

5. Einfachheit. Da die Maschine nur eintheilig, so sind die Verbindungen sehr einfach und leicht zu verfolgen.

6. Es wurde im Lichtbogen eine Nutzarbeit von 47,8 % mit einem Stromkreise von 0,498 *Ohm* äusserem Widerstand geleistet.

7. Die Tourenzahl (500) ist geringer als die der zwei mittleren *Siemens* und weniger als halb so gross, wie die der *Gramme, C* (1200); es ist in Folge dessen auch die Abnutzung der Maschine und der bewegten Theile geringer.

Nachtheile:

Der Kostenpreis einer *Gramme*'schen Maschine, Modell *D*, ist 360 Pfund Sterl., also ungefähr 1½ mal so gross, als der der zwei *Siemens*-Stromerzeuger.

Gramme, Modell *C*.

Vorzüge:

1. Die Maschine kann durch nur wenig geübte Arbeiter bedient werden, ohne eine Beschädigung der Drähte durch Ueberhitzung befürchten zu müssen. In dieser Hinsicht übertrifft dieser Stromerzeuger alle übrigen versuchten Apparate.

2. Bei einem continuirlichen Betriebe von sechs Stunden unter denselben Bedingungen wie bei den zwei *Siemens* und *Gramme*, Modell *D*, und mit einer Stromstärke von etwa 92,27 *Ampère* erhob sich die Temperatur der Drähte nur um 30° *F*.

3. Fehlen der Funken, siehe Vorzüge 4 von *Gramme, D*.

4. Mit einem Stromkreise von 0,627 *Ohm* äusserem Widerstand wurde eine Nutzarbeit von 54,48 % erzielt.

5. Einfachheit, siehe Vorzug 5 von *Gramme, D*.

6. Compactheit, siehe Vorzug 7 von *Gramme, D*.

Der Preis dieser Maschine von 240 Pfund Sterl. ist nahezu derselbe als der zweier *Siemens* mittlerer Grösse mit Collector. Der Strom kann, wenn nothwendig, zur Herstellung zweier Lichter mit einer *Blandy*-Rolle getheilt werden.

Nachtheile:

1. Die erzielte Lichtstärke ist nur 19 500 Kerzen, ungefähr so gross wie die der zwei *Siemens*, und etwa 30 % kleiner wie die der *Gramme, D*, bei 500 Touren.

2. Die grosse Geschwindigkeit von 1200 Touren pro Minute dürfte zu beträchtlicher Abnutzung der Maschine und der bewegten Theile Veranlassung geben.

Zwei *A Gramme*, neben einander geschaltet.

Vorzüge:

1. Billigkeit. Der Preis der zwei Stromerzeuger mit Collector ist nur 170 Pfund Sterl.

2. Diese Stromerzeuger haben ziemlich dieselbe geringe Erwärmung wie die übrigen *Gramme*.

Digitized by Google

3. Fehlen der Funken, siehe Vorzug 4 von *Gramme, D.*

4. Bei Benutzung der einzelnen Stromerzeuger können zwei Lichter hergestellt werden.

Nachtheile:

1. Die von diesen Stromerzeugern gelieferte Lichtmenge, welche nur 18 500 Kerzen beträgt, ist für die militärischen Bedürfnisse nicht ausreichend.

2. Wenn die Stromerzeuger neben einander eingeschaltet sind, so tritt leicht eine Umkehrung des Magnetismus ein, und werden dadurch grosse Störungen und Zeitverluste verursacht." [1])

Den im vorigen Paragraphen erwähnten Nachtheil, dass die Pole der Elektromagnete nur auf die äusseren Drahtwindungen des Ringes inducirend wirken, während die übrigen Theile desselben wenig beeinflusst bleiben und dadurch nur den Widerstand der Stromleitung erhöhen, vermeidet *Fein* in Stuttgart [2]) durch die in Nachstehendem beschriebene Construction, bei welcher der Ring in der Weise auf der Drehachse befestigt wird, dass bei gleichzeitigem Anbringen von entsprechend geformten Armaturen beinahe die ganze Länge der Drahtwindungen der Wirkung der Magnete ausgesetzt ist. Die Fig. 111 zeigt den Durchschnitt, Fig. 112 die Seitenansicht der

50. Dynamo-elektrischen Maschine von Fein. Der aus einer grösseren Anzahl ganz dünner, von einander isolirter Eisenscheiben hergestellte, mit den Drahtwindungen versehene cylinderförmige Ring RR ist mittelst Schrauben und Muttern an dem Messingsterne SS befestigt, welcher, mit einer Büchse versehen, auf der Achse aa festgekeilt ist und durch die Riemscheibe J in Umdrehung versetzt wird. Die Enden der einzelnen Drahtspiralen gehen theils durch isolirte Oeffnungen, welche sich in den Speichen des Sterns befinden, theils zwischen diesen zu dem auf der rechten Seite des Apparates befestigten Stromsammler C, der, um

1) Siehe §. 57 das Urtheil derselben Commission über die *Siemens*-Maschinen.

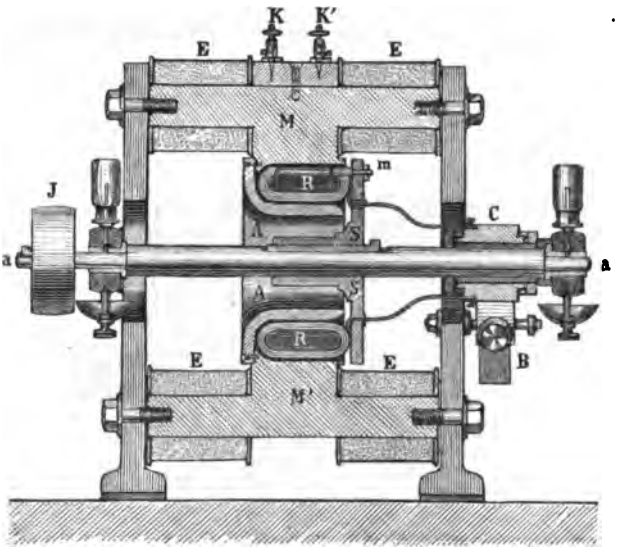
2) Vgl. E. Z. 1881, p. 197.

Digitized by Google

leicht zugänglich zu sein, auf der verlängerten Achse ausserhalb des Gestelles angebracht ist.

Die Eisenkerne der Elektromagnete *E* und *E* sind ferner mit den Armaturen *M* und *M'* verbunden, welche die äusseren Seiten des Ringes umschliessen. An diese sind die halbtrichterförmigen eisernen Polstücke *A A* geschraubt, welche den Ring in der aus Figur 111 ersichtlichen Weise auf zwei weiteren Seiten umfassen, so dass sich nahezu die ganze Länge seines Umwindungsdrahtes in den magnetischen Feldern

Fig. 111.



Dynamo-elektrische Maschine von Fein.

bewegt und nur die dem Messingstern gegenüberliegenden ganz kurzen Drahtstücke nicht elektromotorisch wirken.

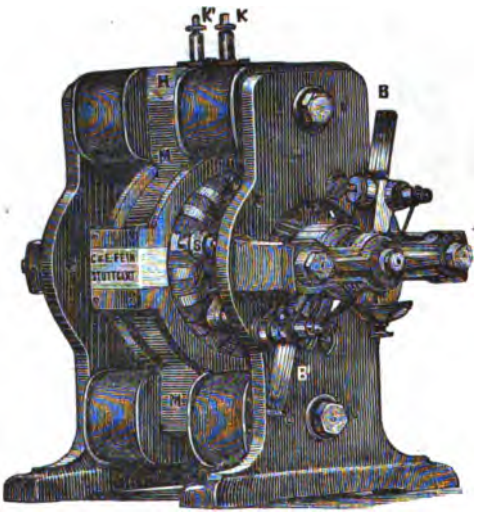
Der erhöhte Nutzeffect der Maschine lässt sich nach *Fein* dadurch nachweisen, dass man die Polstücke *A A* entfernt, so dass die Induction, wie bei der *Gramme*'schen Maschine, nur die äusseren Windungen des Ringes beeinflusst. Hierbei erhielt *Fein* kaum die Hälfte der Strom-

Digitized by Google

stärke, welche die Maschine unter Mitwirkung der Armaturen *A A* lieferte. Daraus darf man aber nicht etwa schliessen, dass diese Maschine mit demselben Kraftverbrauch doppelt soviel Strom liefert wie die *Gramme*-Maschine, sondern der Unterschied zeigt sich darin, dass eine Maschine von derselben Grösse, mit dem gleichen Gewicht Eisen und Kupferdraht, im Stande ist, eine grössere Menge mechanischer Arbeit zu absorbiren und in elektrische Energie zu verwandeln.

In anderer Weise suchten *Siemens & Halske* sowie *Schuckert* den gedachten Nachtheil zu vermeiden, dadurch nämlich, dass sie statt des cylinderförmigen Ringes einen

Fig. 112.



Dynamo-elektrische Maschine von Fein.

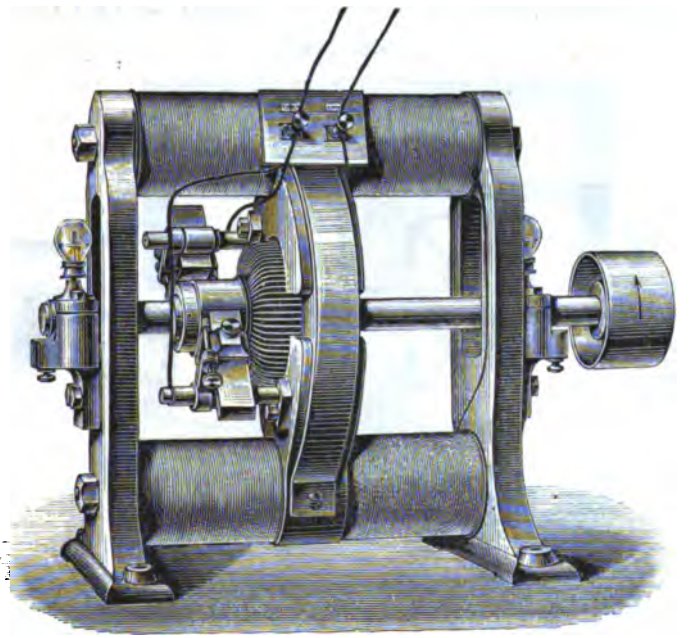
solchen von flacher Form verwendeten und die Armaturen der zwei Elektromagnete gleichzeitig auf beiden Seiten des Ringes inducirend einwirken liessen. Nach diesem Princip wurde bereits im Jahre 1875 von *Siemens & Halske* eine

Digitized by Google

Maschine gebaut;[1]) indessen suchten dieselben die Flachring-Maschine nicht weiter zu vervollkommnen, wandten sich vielmehr anderen Constructionen zu, welche vortheilhafter schienen. Dem entgegen arbeitete *Sigmund Schuckert* fortwährend an der Vervollkommnung der Flachring-Maschine und hatte den Erfolg, dass mit derselben zahlreiche Installationen getroffen wurden, die sich sehr gut bewährten.

51. Schuckert's dynamo-elektrische Flachring-Maschine. Die Fig. 113 zeigt die *Schuckert*'sche Maschine in perspecti-

Fig. 113.



Schuckert's Flachring-Maschine.

vischer Zeichnung; die Fig. 114 und 115 stellen dieselbe im Längsschnitte und im Querschnitte dar.

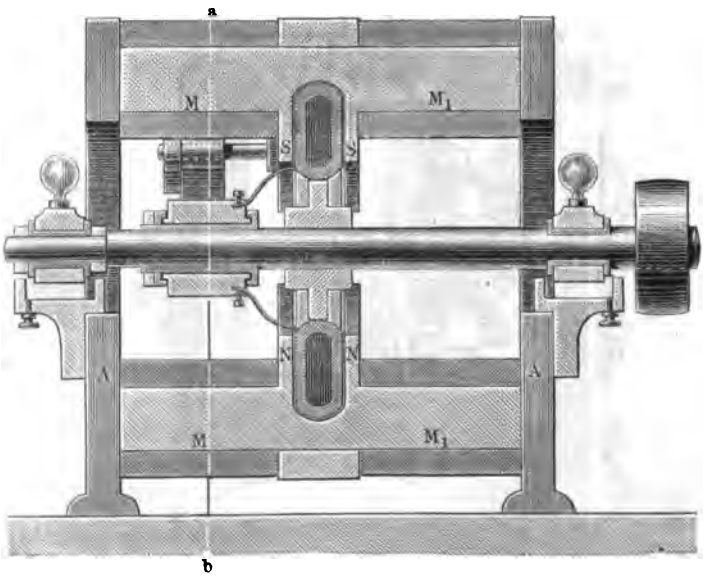
Das Gestell wird aus zwei eisernen Seitenständern und

[1]) Vgl. Z. f. a. E. 1880, p. 403.

Digitized by Google

den beiden Eisenkernen der Elektromagnete gebildet; die ersteren dienen als Lager für die Rotationsachse des Ringes, die letzteren sind mit den Seitenständern fest verbunden und mit Kupferdraht bewickelt. In dieser Form kann man sich das Gestell als zwei hufeisenförmige Elektromagnete vorstellen, welche mit ihren gleichnamigen Polen zusammenstossen, so dass *M M* (Fig. 114) die Schenkel des einen, M_1 M_1 die Schenkel des anderen Elektromagnets, die Ständer *A A* die Verbindungstheile beider Schenkel bilden. Die flachen bogenförmigen Pol-Ausläufe *S S* und *N N* (die Armaturen) umschliessen auf beiden Seiten mehr als zwei Drittel

Fig. 114.



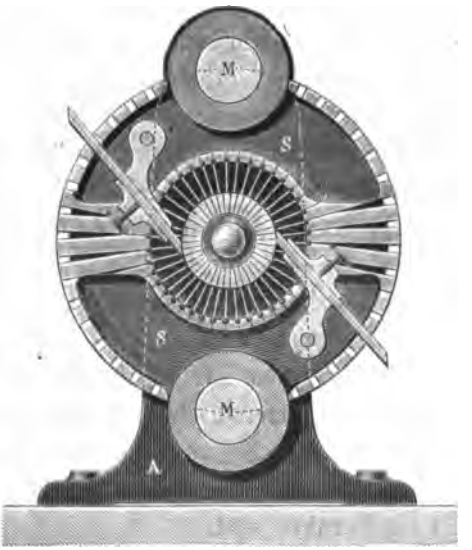
Schuckert's Flachring-Maschine (Längsschnitt).

der gesammten Ringfläche. Hierdurch wird die Magnetisirung des eisernen Ringkerns eine sehr kräftige, weil sie von beiden Seiten zugleich geschieht, und zwar wird die obere Hälfte desselben nordpolarisch, wenn *S S* die Südpole der beiden oben zusammenstossenden Elektromagnete

Digitized by Google

sind, während die untere Hälfte südpolarisch wird; es wird ferner jede Drahtwindung bis auf das kurze Stückchen an der Innenseite des Ringes der directen Inductionswirkung der kräftigen magnetischen Felder ausgesetzt, welche sich zwischen dem Eisen des Ringes und den Magnetpolen bilden. Das an der Innenseite des Ringes befindliche Stückchen des Drahtes wird bloss durch den Magnetismus des Ringes inducirt. Es gelangt also nahezu die ganze Drahtlänge zur vollen Wirksamkeit und ist dadurch das Verhältniss der

Fig. 115.



Schuckert's Flachring-Maschine (Querschnitt).

wirksamen zu den unwirksamen Drahttheilen, wovon unter sonst gleichen Umständen die Stärke des erregten Stromes abhängt, ein sehr günstiges.

Der Eisenring besteht nicht aus einem massiven Stück, sondern aus isolirten Blechringen, in der Querschnittszeichnung (Fig. 115) bedeuten die dicken schwarzen Striche die isolirenden Scheiben. Die magnetische Trägheit eines tem-

Digitized by Google

porären Magnets wächst proportional mit der Masse des Eisens, und es ist daher bei massiven Eisenkernen eine verhältnissmässig lange Zeit erforderlich, um beim Polwechsel den vorhandenen Magnetismus zu vernichten, so dass bei schneller Umdrehung des Ringes, also bei sehr häufigem Polwechsel, wie schon oben gesagt wurde, eine Schwächung des sich neu bildenden entgegengesetzten Magnetismus entsteht. In den einzelnen Eisenschichten von kleiner Masse vollzieht sich dagegen der Polwechsel schneller, das Maximum des Magnetismus wird vollkommener erreicht und dadurch die Erwärmung dieser Theile verhindert. Aus demselben Grunde wird auch der Verbrauch der zum Umtriebe des Ringes erforderlichen Arbeit erheblich reducirt, weil durch die Ausnutzung des Ringes von beiden Seiten kein Theil desselben unnütz magnetisirt, sondern aller Magnetismus in Elektricität umgesetzt wird.

Schuckert verbindet den Ring mit der Achse durch Metall, während dieses bei *Gramme* durch Holz geschieht, um den störenden Inductionswirkungen zu begegnen, welche die Bewegung grösserer Drahtmassen im magnetischen Felde hervorbringen. Von einer solchen zur Festigkeit der Maschine wesentlich beitragenden metallischen Verbindung hat die Maschine von *Schuckert* nichts zu befürchten, weil nur ein ganz kleiner Theil des sich bewegenden Drahtes von jener Inductionswirkung berührt wird.

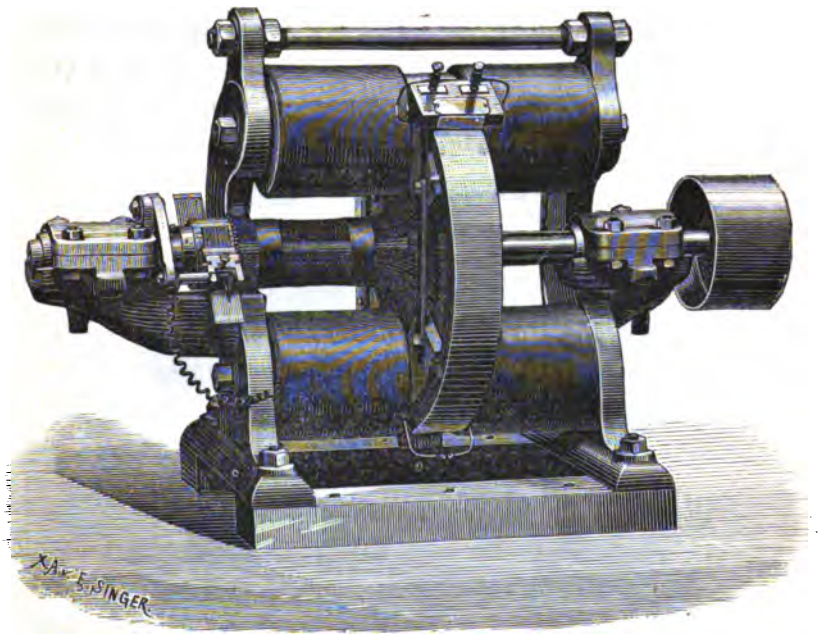
Wie leicht zu ersehen ist, haben die Ströme der beiden Seiten die gleiche Richtung und addiren sich. Die Nutzbarmachung der gesammten Ströme der oberen und unteren Hälfte des Ringes, die sich natürlich auch hier in Folge ihrer entgegengesetzten Richtung ausgleichen würden, geschieht wie bei der *Gramme*'schen Maschine durch Ableitung derselben in der Nähe der neutralen Linie vermittelst zweier Drahtbürsten.

Aehnlich wie bei *Gramme* besteht auch der Strom-

Digitized by Google

abgeber aus eben so vielen von einander isolirten Theilen, als Drahtspulen auf dem Ringe sich befinden; die Zahl derselben schwankt je nach der Construction der Maschine für geringe oder hohe Spannung zwischen 10 und 100; das Drahtende jeder Spule ist auch hier immer mit dem Anfange der nächstfolgenden verbunden, zugleich aber an ein Segment des Stromabgebers festgeschraubt, welches nach Lösung der Schraube von der Achse abgenommen und erneuert werden kann. Eine solche Auswechselung braucht

Fig. 116.



Schuckert's dynamo-elektrische Maschine für getheiltes Licht.

aber erst nach mehrjährigem Betriebe der Maschine statt zu finden, da die Abnutzung nur sehr gering ist und die einzelnen ableitenden Segmente ca. 2mm tief sind. Der besseren Auswechselung wegen ist bei den neueren Ma-

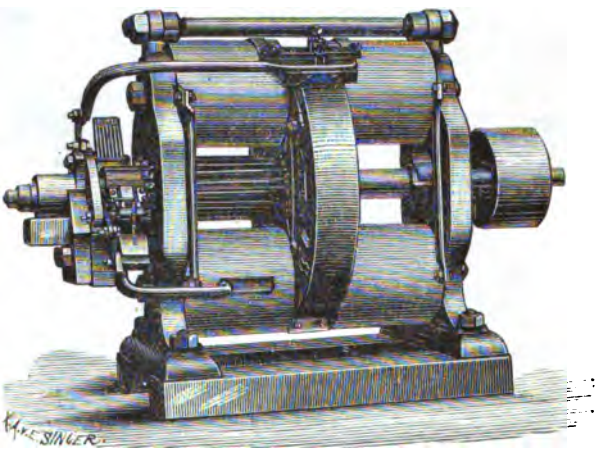
Digitized by Google

schinen der Stromabgeber nach aussen verlegt worden. (Vgl. Fig. 116, 117 und 118.)

Die hohe Spannung des Stromes, welche bei getheiltem Lichte erforderlich ist, konnte namentlich durch die geringe Erwärmung des Ringdrahtes in Folge seiner vortheilhaften Ausnutzung und der kräftigen Luftkühlung des Ringes bei der Rotation erreicht werden. Dabei entsteht nämlich, ähnlich wie bei einem Ventilator, eine intensive Luftströmung, welche sich auch auf die hohlen Zwischenräume zwischen den Eisenblechscheiben des Blechringes selbst erstreckt und dadurch eine Abkühlung von innen bewirkt.

In der Regel führt *Schuckert* bei seinen Maschinen das dynamo-elektrische Princip durch, so dass der im Ring erzeugte Strom durch die Elektromagnete und die in der

Fig. 117.



Dynamo-elektrische Maschine mit einem Stromabgeber für Galvanoplastik.

Leitung befindlichen zu bearbeitenden Medien (Kohlenlicht-Regulator, galvanische Bäder etc.) in einem Stromkreise hindurchgeht und es dienen dann bei Maschinen für Galvanoplastik Kupferstangen und Blech zur Bewicklung des Ringes und der Magnete; eine solche Maschine zeigt Fig. 117.

Digitized by Google

Soll aber der Strom durch Metallbäder mit sehr grossem Widerstande hindurchgehen, so würden die Elektromagnete bei strenger Durchführung des dynamo-elektrischen Princips nicht hinreichend stark magnetisirt werden. In solchen Fällen werden die Maschinen auf beiden Seiten des Ringes mit Stromabgebern versehen und es wird die Verbindung derselben mit den Ringspulen so angeordnet, dass der kleinere Theil, etwa ein Drittel des erzeugten Stromes, von der einen Seite abgeleitet und direct nur um die Elektromagnete geführt wird, während man den übrigen Strom der anderen Seite zur Arbeit verwendet. (Vgl. Fig. 118.)

Dadurch wird auch die Polumkehrung der Elektromagnete durch den Polarisationsstrom verhütet, während bei den vorhin besprochenen Maschinen ein besonderer automatischer Stromunterbrecher, welcher in einer spätern Abtheilung behandelt wird, einzuschalten ist.

In anderen Fällen werden zwei Ringe auf einer und derselben Achse befestigt, wozu die Flachringform sich besonders gut eignet, wie die Skizze (Fig. 119) zeigt. Die Maschinen werden dann mit einem drehbaren Umschalter versehen, mittelst dessen man die Ströme beider Ringe sowohl nebeneinander auf Quantität als auch hintereinander auf Spannung schalten, ferner auch jeden der beiden Ströme für sich allein benutzen kann.

Bis jetzt hat dieses Princip wegen der Complication in der Construction keine grosse Verwendung gefunden.

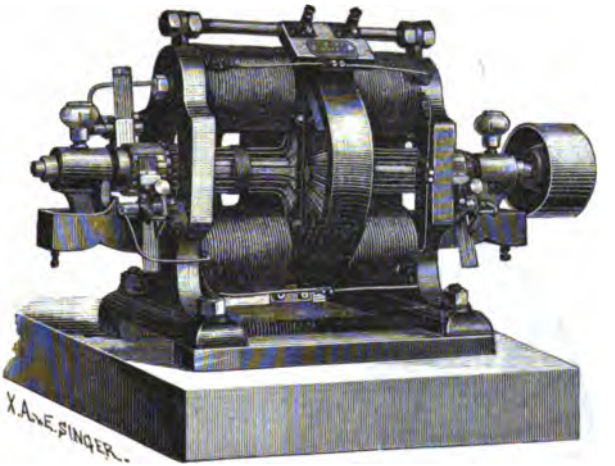
Die Grössenverhältnisse und die Leistungen der Schuckert-Maschinen können am besten aus der folgenden Tabelle beurtheilt werden, die eine Zusammenstellung der wichtigsten Dimensionen für einige der von Schuckert gebauten Maschinen enthält. Es sind dabei nicht alle grösseren Nummern berücksichtigt, sondern immer je die kleinste, eine mittlere und die grösste Maschine der verschiedenen Typen ausgewählt.

Digitized by Google

Modell.	Kraftbedarf in Pferdestärken	Tourenzahl per Minute.	Gewicht. kg.	Anzahl der Lampen.	Helligkeit der Lampen in Normalkerzen.	Spannung in Volt.	Stromstärke in Ampère.	Widerstand des Ringes in Ohm.
Einzellicht.								
E L ½	1	1500	90	1	600	50	7	1,0
2	3	950	200	1	4000	50	36	0,5
4	8	800	430	1	12 000	50	65	0,3
Theilungslicht.								
T L 1	2	1300	150	2	1000	100	8	4,3
3	5,5	1000	350	6	1000	300	8	4,8
5	12	750	880	14	1000	700	8	9,4
Glühlicht.								
J L ½	1	1500		5	16	110	3,6	1,2
3	6	1000		35	16	110	25,6	0,3
5	12	750		72	16	110	50,4	0,2
Galvanoplastik.								
G 0	1	1000	50		Kupferniederschlag per Stunde. 0,15 kg.	2	200	0,009
2	3	750	180		1,00	2,5	800	0,005
5	9	550	420		5,40	3	1600	0,002

Digitized by Google

Fig. 118.



Dynamo-elektrische Maschine mit zwei Stromabgebern, speciell für Vernickelung, Versilberung, Vergoldung u. s. w.

Fig. 119.

Schuckert's Doppelring.

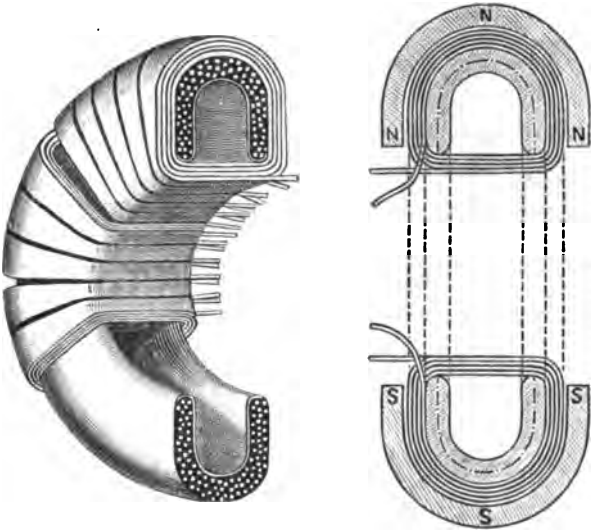
Neuerdings ist dem *Gramme*'schen Ringe von *Ch. F. Heinrichs* in London eine Gestalt gegeben worden, durch welche die früher gerügten Mängel des Ringes beseitigt werden dürften.

52. Der **Canalisirte Ringanker von Heinrichs** ist in Fig. 120 und in Fig. 121 im Schnitt dargestellt. Hiernach ist der Querschnitt des durch ein Bündel dicken Eisendrahtes gebildeten oder auch aus massivem Eisen verfertigten Kernes hufeisenförmig, so dass der Draht nur auf der äusseren

Digitized by Google

Fläche des Ankers aufliegt. Neu ist auch die Construction der inducirenden Elektromagnete, welche die äussere Fläche des Ankers ganz umschliessen. Da demnach die im Ringanker durch Influenz gebildeten starken Magnetpole die in

Fig. 120. Fig. 121.



Ringanker von Heinrichs.

Fig. 121 punctirt gezeichnete hufeisenförmige Gestalt haben, so muss der Ringanker an der Stromerzeugung sehr participiren. Auch lässt die Form der Elektromagnete diese auf den grössern Theil des Drahtes einwirken; das Verhältniss, in welchem der stromerzeugende Draht zu dem nutzlosen Drahte steht, ist 10 : 4. Dabei erfolgt die Einwirkung der festen Pole nur auf die denselben zunächst liegenden Theile der Drahtspirale, wodurch der erzeugte Strom an Stärke gewinnt (vgl. die Erörterungen p. 11); auch lassen die Beobachtungen von *Deprez* erwarten, dass die Wirkung des Apparates eine recht beträchtliche ist. Schliesslich ist

Digitized by Google

der Canal insofern von Nutzen, als er die durch die ständige Veränderung des magnetischen Zustandes der einzelnen Eisenpartikelchen und durch die kräftigen Ströme in dem Ringe entwickelte Wärme unschädlich macht. Die stets zu- und abströmende Luft trägt zunächst zur Abkühlung des Ringes selbst bei; sodann kommt ein Theil der Drahtlage mit dem kühlenden Luftstrome des Canals direct in Berührung und bewirkt dadurch, dass auch die unteren dem Anker aufliegenden Drahtlagen durch die Erwärmung des Drahtes nicht zerstört werden.[1])

Fig. 122.

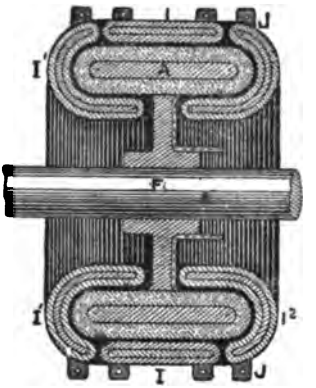
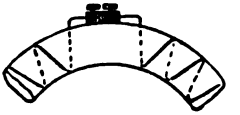


Fig. 123.



Fitzgerald's Ring und Elektromagnet.

Elektromagnete, wie sie in diesem Paragraph angedeutet wurden, charakterisiren auch

53. Desmond G. Fitzgerald's Maschine.[2]) Die Figuren 122 u. 123 stellen eine etwas modificirte Form des Ringes vor, der insofern von dem *Gramme*'schen Ringe abweicht, als er wie der *Brush*' Ring durch eiserne Keile in mehrere Theile getheilt ist. Der denselben umgebende Magnet setzt sich aus mehreren Stücken zusammen. J^1 und J^2 sind in sich geschlossene Ringe, welche von der Seite her gegen den Inductionsring gebracht und mittelst der Lappen J J an geeigneten Vorsprüngen des Rahmens verschraubt werden. Um den Elektromagnet J an seine Stelle bringen zu können, wird derselbe aus zwei Theilen zusammengesetzt. Die

1) Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 177, so wie die Beschreibung der dynamo-elektrischen Maschine von Heinrichs, p. 250.

2) Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 72.

Digitized by Google

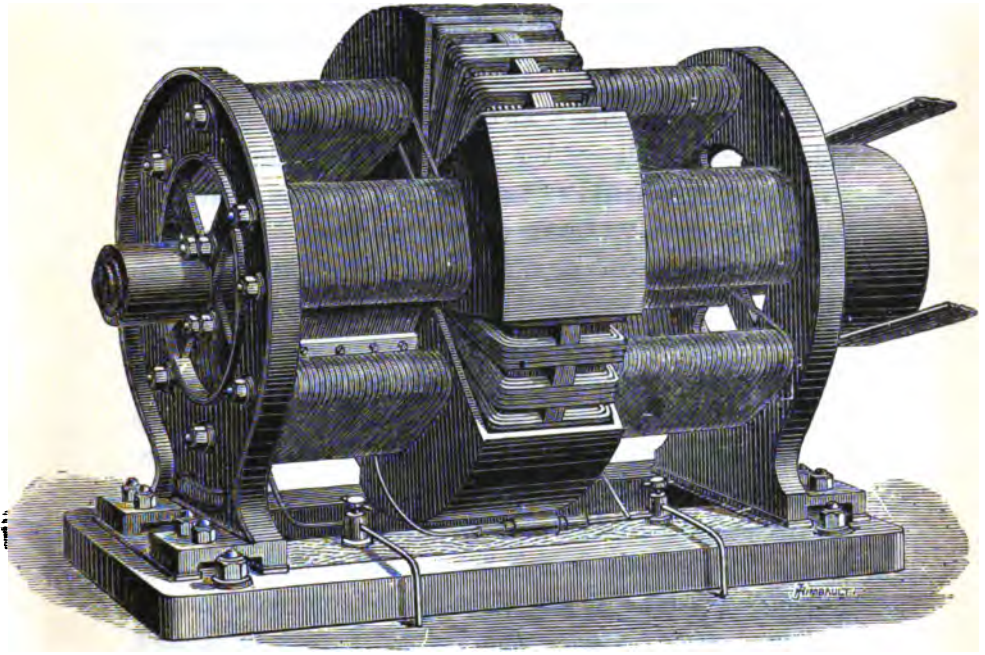
Schnittflächen des Elektromagnets *J* liegen in der Verticalebene der Wellenmitte. Die Bewicklung des Elektromagnets ist, wie in Fig. 123 angedeutet ist, symmetrisch zu jener Verticalebene durchgeführt, in welcher auch, oben bezw. unten, die beiden Pole des Elektromagnets sich befinden. Der Elektromagnet ist danach identisch mit zwei der gewöhnlichen hufeisenförmigen Elektromagnete, die mit den gleichnamigen Polen zusammengeschlossen sind. Ueber den Wirkungsgrad der Maschine lässt sich noch nicht Bestimmtes sagen: „ein wichtiges Bedenken müssen wir aber" — bemerkt *Uppenborn* richtig — „betonen bezüglich der Anfertigung der Maschine. Die Herstellung der doppelt gekrümmten Elektromagnete dürfte nämlich sehr schwer fallen. Derartige Flächen lassen sich nicht mit einer solchen Genauigkeit herstellen, wie sie für den vorliegenden Zweck wünschenswerth, ja, nothwendig erscheint. Will man daher die Gefahr umgehen, dass der Ring sich an den Magnet reibt, wodurch die Maschine in kurzer Zeit unbrauchbar würde, so müssen die Zwischenräume zwischen beiden zum Nachtheile der inducirenden Wirkung sehr viel grösser gemacht werden, als dies bei anderen dynamo-elektrischen Maschinen der Fall ist."

54. Die Gülcher-Maschine. Das magnetische Feld dieser Maschine wird erzeugt durch acht Elektromagnete von ovaler Form, welche in zwei Gruppen von je vier so angeordnet sind, dass sie ihre freien Enden einander zukehren, während die entgegengesetzten Enden an zwei verticalen Gestellen befestigt sind, die zugleich in ihrer Mitte die Welle des Inductorringes tragen. Die gleichnamigen einander gegenüberstehenden Polenden je zweier Elektromagnete sind durch einen U-förmigen Polschuh verbunden, welcher den rotirenden Inductorring derart umgibt, dass auch dessen Peripherie einer kräftigen Inductionswirkung unterliegt. Die acht Elektromagnete sind so zu vier Elektromagnetpaaren gruppirt, deren Polschuhe ab-

Digitized by Google

wechselnd nord- und südmagnetisch sind und so vier stromerzeugende magnetische Felder bilden. Der Kern des Inductorringes besteht wie bei der Maschine von *Gramme* aus Eisendrähten; auch die Wirkung des Ringes ist wie bei der *Gramme*-Maschine, nur mit dem Unterschiede, dass zwischen den einzelnen Abtheilungen Raum ausgespart ist, wodurch beim Gang der Maschine eine sehr intensive Ventilation entsteht. Der principielle Unterschied dieser Ma-

Fig. 124.



Die Gülcher-Maschine.

schine gegenüber der von *Gramme* besteht darin, dass sie wie schon erwähnt vier stromerzeugende magnetische Felder besitzt, während jene deren zwei hat. Es entstehen daher bei der Rotation fortwährend vier Strom-Impulse, welche durch vier Bürsten abgeführt werden. Durch Parallelschaltung der entsprechenden Bürsten werden die vier Ströme zu einem

Digitized by Google

einzigen vereinigt. Charakteristisch für diese Maschine ist die sehr grosse Breite des Stromsammlers und der Bürsten, wodurch eine sehr grosse Dauerhaftigkeit erreicht und die Funkenbildung möglichst vermieden wird. Der Erfinder ist bestrebt, mit seiner Maschine Ströme von sehr geringer Spannung und grosser Stromstärke zu erzeugen. Um dieses zu erreichen, ist erforderlich, den innern Widerstand der Maschine sehr klein zu machen; er beträgt gewöhnlich nur 0,1 bis 0,2 Ohm. Dieses wird dadurch erreicht, dass alle Elektromagnete parallel geschaltet und die Spulen auf dem Inductor durch wenige Windungen von dickem Drahte gebildet werden.

Die Maschine liefert Ströme von 65 Volt Spannung und je nach der Grösse von 20—240 Ampère Intensität.

55. Siemens-Halske's magnet- und dynamo-elektrische Trommelmaschine. (*System v. Hefner-Alteneck.*) Bei den *Gramme*'schen Maschinen bildet der eiserne Ring mit seinen Drahtspulen den wesentlichsten Bestandtheil; bei den von *Friedrich v. Hefner-Alteneck*, dem Vorsteher des Constructions-Bureaus der Telegraphen-Bauanstalt von *Siemens & Halske* in Berlin, schon im März 1872 entworfenen und am 5. Juni 1873 in England und in anderen Ländern patentirten magnet- und dynamo-elektrischen Inductionsmaschinen vertritt eine mit Draht umwickelte Trommel die Stelle dieses Ringes, mögen dieselben nun für den Kleinbetrieb mit Stahlmagneten besetzt und mit einer Kurbel von der Hand in Bewegung gesetzt werden oder für den Betrieb im Grossen nach dem dynamo-elektrischen Princip gebaut und mit kräftigen Elektromagneten ausgerüstet sein.

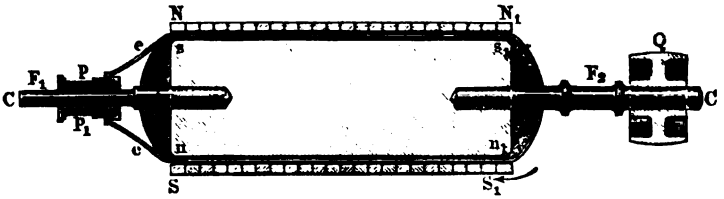
Gestelle und Einrichtung dieser bewickelten Trommel unterscheiden sich bei den verschiedenen Constructionen durch die Anzahl der Theile, in welche die Wicklung zerfällt. Zum leichtern Verständnisse sind in den folgenden

Digitized by Google

Abbildungen dieselben Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet.

Die Fig. 125 stellt eine solche Trommel einfachster Art dar. NN_1 bezeichnen eine Reihe feststehender kräftiger

Fig. 125.



Die rotirende Trommel.

Nordpole, SS_1 ebenso viele Südpole. Im Innern der Trommel, deren Achse CC in den Lagern F_1 und F_2 drehbar ist, befindet sich dicht an ihrer Wandfläche ein eiserner Cylinder, welcher ebenfalls mit der Achse CC fest verbunden ist und mit dieser umläuft.

Die festen äusseren Magnetpole NN_1 und SS_1 wirken durch Influenz auf den innern Eisenkern und verwandeln ihn in einen kräftigen Quermagnet, wodurch umgekehrt der Magnetismus jener Pole beinahe zur vollen Wirkung eines geschlossenen Magnets gesteigert wird. Der Zwischenraum zwischen den Magnetpolen und dem Eisenkern (Anker) bildet zwei sehr intensive entgegengesetzt polarisirte magnetische Felder. Da die Drähte, in welchen die Inductionsströme erzeugt werden sollen, der Länge nach auf den Trommelmantel oder direct auf den innern Eisenkern ss_1n_1n aufgezogen sind, so gehen dieselben bei der Drehung der Trommel durch die magnetischen Felder hindurch, und zwar passirt jede Hälfte einer einzelnen Windung bei jedem Umlaufe einmal jedes der beiden Felder.

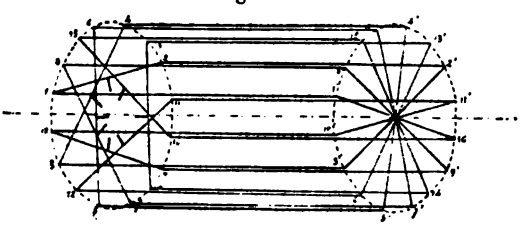
Die Polflächen NN_1 und SS_1, welche in der Figur in verticalem Durchschnitte gezeichnet sind, erstrecken sich durch bogenförmige Verlängerungen um den Anker oder den

Digitized by Google

Eisenkern herum und umschliessen ihn der ganzen Länge nach auf etwa zwei Drittel seines Umfanges. Die Ströme, welche gleichzeitig in den durch die entgegengesetzten magnetischen Felder hindurchgehenden Hälften einer und derselben Drahtwindung inducirt werden, sind so gerichtet, dass sie sich summiren. Diese beiden Ströme erreichen in jeder Windung ihr Maximum, wenn die Hälften der Windung ungefähr durch die Mitte der magnetischen Felder hindurchgehen; sie sinken dagegen in einer um 90° davon verschiedenen Lage auf Null herab.

Der isolirte Kupferdraht ist, wie bereits gesagt, nicht senkrecht zur Achse der Trommel um diese gewunden, sondern der Länge nach auf dieselbe aufgezogen, wie dies Fig. 126 andeutet, und zwar bei den für die grösseren

Fig. 126.



Schema der Trommel von Hefner-Alteneck.

Leistungen bestimmten Maschinen in vielen Windungen und in 8 bis 28 (und mehr) einzelnen Partieen, welche auf dem Trommelmantel eine zusammenhängende Windung darstellen, von der den einzelnen Partieen entsprechend 16 bis 56 (und mehr) Schleifen nach den von einander getrennten, unter sich isolirten 16 bis 56 (und mehr) Theilen des Collector geleitet sind. Es ist somit jede dieser Drahtgruppen ausserdem, dass dieselben unter sich ein zusammenhängendes Ganzes bilden, mit ihrem Anfange und Ende mit dem Collector, auf dessen Einrichtung wir sogleich zurückkommen, in Verbindung.

Digitized by Google

Nehmen wir an, dass bei der Drehung der Trommel die oberhalb der Linie ss_1 liegenden Drahttheile sich dem Nordpole NN_1 nähern, so werden sich die anderen Hälften derselben Windungen, welche unterhalb der Linie nn_1 liegen, den Südpolen SS_1 nähern; der erzeugte Inductionsstrom hat daher für den seitwärts stehenden Beschauer in jeder halben Windung oben und unten eine entgegengesetzte Richtung. Aber eben desshalb unterstützen sich diese beiden gleichzeitig auftretenden Ströme in dem rechteckig gebogenen Drahte und summiren sich zu einem einzigen Strome, der in den Anfangs- und Enddrähten ee (Fig. 125) einer jeden Drahtgruppe zu der Sammel- und Ableitescheibe pp_1 gelangt. Andererseits aber kommt jede Hälfte einer solchen Drahtpartie, welche soeben an den Nordpolen NN_1 vorbeigegangen ist, gleich darauf zu den Südpolen SS_1 und erhält dadurch einen Summenstrom, welcher dem vorigen entgegengesetzt ist.

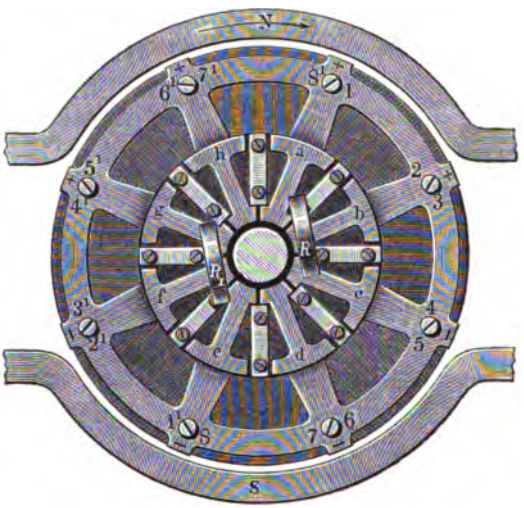
Aber nicht bloss die eine Drahtpartie, welche wir in Betracht gezogen haben, erhält einen Inductionsstrom, es bilden sich solche vielmehr auch gleichzeitig in den übrigen 7 bis 27 (und mehr) Theilen des zusammenhangenden Stromkreises, wenn auch in verschiedener Stärke, und es kommt also darauf an, die in den einzelnen Drahtpartieen beim Uebergange aus dem einen in das andere magnetische Feld auftretenden Ströme von wechselnder Richtung zu Strömen von unveränderlicher Richtung zu vereinigen, um so einen einzigen ununterbrochenen Strom von nahezu unveränderlicher Stärke aus der Maschine nach aussen ableiten zu können.

Diese Aufgabe erfüllt der Collector, der alle Ströme der einen Richtung gleichzeitig nach der einen Ableitestelle führt, während er die Ströme der entgegengesetzten Richtung nach der anderen Ableitestelle bringt. Derselbe ist in Fig. 127 und schematisch in Fig. 128 abgebildet, in welcher N und S die Reihen der einzelnen Nord- und Südpole

Digitized by Google

bezeichnen, wenn Stahlmagnete angewendet werden oder auch Armaturen von weichem Eisen, in denen durch ihre Verbindung mit entsprechend liegenden Elektromagneten die genannten magnetischen Polaritäten erzeugt werden. Die dritte, mit den Ziffern 1 bis 8 besetzte Linie bezeichnet den mit 8 Drahtgruppen bewickelten Mantel der Trommel, welche zwischen N und S rotirt; der innere kleinere unterbrochen gezeichnete Kreis ist die auf der Trommelachse befestigte Collectorscheibe pp_1 der Fig. 125 und 127.

Fig. 127.



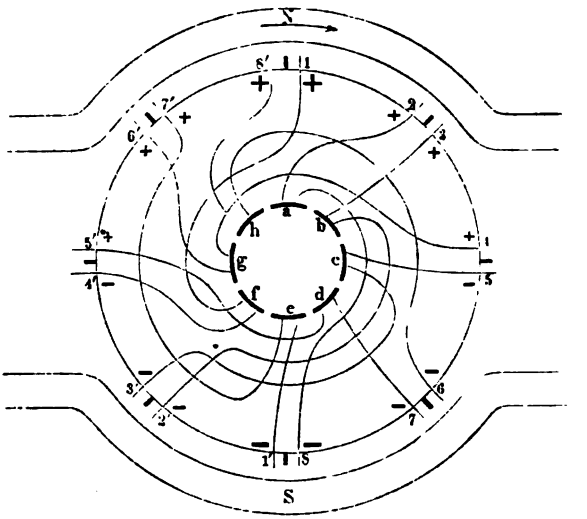
Die Collector-Scheibe.

Die zugehörigen Enden $e\,e$ (Fig. 125) einer jeden der 8 Drahtgruppen bilden im Ganzen 16 Enden, und diese sind an der vorderen Stirnfläche der Trommel in eigenthümlicher Weise paarweise zu 8 gegen einander isolirten Metallsectoren a bis h der Collectorscheibe zugeführt; letztere bildet daher keine volle Scheibe, vielmehr sind die Sectoren durch schmale radiale Zwischenräume von einander getrennt. Die zwei Drahtenden, welche mit denselben Ziffern bezeichnet

Digitized by Google

sind, gehören zu derselben Drahtgruppe; ist also 1 der Anfang der ersten Drahtgruppe, so ist 1′ das Ende derselben Drahtgruppe, ebenso bilden 2 und 2′ ..... 8 und 8′ die Enden der zweiten und letzten Drahtgruppe, welche die Mantelfläche der Trommel umgeben. Die beigesetzten Zeichen + und — deuten die Richtung des Stromes an, welcher aus jeder für sich allein betrachteten Drahtgruppe bei einer bestimmten Lage derselben aus dem mit + oder — versehenen Drahtende austritt, wenn die Trommel zwischen

Fig. 128.



Schematische Zeichnung des Collectors. (Hefner-Alteneck.)

den festen äusseren Magnetpolen *N* und *S* in der Richtung des Pfeiles umläuft.

An zwei diametral gegenüber liegenden Stellen wird je eine metallene Rolle[1]) oder eine metallene Drahtbürste (Ab-

1) In den neueren Maschinen werden statt der Ableiterollen ausschliesslich flache Drahtbürsten angewandt.

Digitized by Google

leiter) gegen den aus den Metallsectoren gebildeten unterbrochenen Collectorumfang federnd angedrückt, so dass die Sectoren, wenn sie mit der Trommel umlaufen, paarweise der Reihe nach unter den beiden Ableitern hinweggehen und während der Berührung mit ihnen die metallische Verbindung zwischen den Drahtwindungen der Trommel und zwei Klemmen herstellen, in welchen die Enden des äussern Schliessungskreises oder der Leitung befestigt sind. Die Stellen, wo die den inducirten Strom aufnehmenden Ableiter die Sammelscheibe berühren, müssen, wie bei den *Gramme*schen Maschinen, da liegen, wo ein Wechsel der Stromesrichtung eintritt. Wenn wir die Linie, welche die Sectoren *g* und *c* (Fig. 128) verbindet, die Mittellinie, und die Linie, welche die Mitte *N* und *S* der magnetischen Felder verbindet, die Pollinie nennen, so erhalten bei der Drehung der Trommel diejenigen Drahtpartieen die stärksten Ströme, welche die Pollinie passiren, wogegen die Drähte, welche durch die Mittellinie oder durch die magnetischen Indifferenzstellen der magnetischen Felder hindurchgehen, ohne Strom sind. In den Drahtstücken zwischen diesen Grenzlagen entstehen natürlich ebenfalls Ströme, welche bei der Drehung der Trommel in der Richtung des Pfeiles links von *N* an Stärke zunehmen, dagegen rechts über *N* hinaus bis zu Null abnehmen.

So lange ein Drahtbündel der Trommel sich zwischen der Mittellinie und der Pollinie bewegt, also mit der einen oberen Hälfte sich auf dem Wege *g a c* befindet, behält der in derselben erst anschwellende, dann abnehmende Strom eine und dieselbe Richtung; dasselbe geschieht, wenn dieselbe Drahthälfte sich unterhalb der Mittellinie auf dem Wege *c e g* befindet, nur mit dem Unterschiede, dass jetzt der Strom in einem und demselben Drahtbündel die entgegengesetzte Richtung hat als früher. Die Mittellinie ist daher, wie bereits gesagt, die Stelle, wo für jedes Drahtbündel

Digitized by Google

der Trommel der Stromwechsel eintritt, und an diesen beiden Stellen *g* und *c* der Sammel- und Ableitescheibe müssen daher die ableitenden Rollen oder Bürsten aufliegen, um in derselben Weise, wie dieses bei der *Gramme*'schen Maschine näher erläutert worden ist, die sämmtlichen bei der Rotation der Trommel fortwährend neu erzeugten positiven Ströme aus der Maschine aufzunehmen und rechtzeitig abzuleiten, bevor sie durch die nachfolgenden negativen Ströme in ihrer Wirkung aufgehoben werden.

Durch die metallischen Sectoren *a* bis *h* werden nur je zwei im Uebrigen ganz von einander getrennte Drahtpartieen der Trommel mit einander verbunden, und zwar so, dass die ganze Drahtlänge aller acht Bündel aus zwei in *g* und *c* an einander stossenden Zweigen besteht, nämlich aus dem ununterbrochenen Zweige *c* 5 5′ *d* 7 7′ *e* 1′ 1 *f* 4′ 4 *g* und dem ebenfalls ununterbrochenen Zweige *c* 3′ 3 *b* 2′ 2 *a* 8 8′ *h* 6 6′ *g*. Bei dieser Schaltung haben nicht nur die in allen vier zu demselben Zweige gehörigen Drahtbündeln erzeugten Inductionsströme die nämliche Richtung, sondern es tritt auch bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung der Drahtbündel aus beiden Zweigen der positive Strom bei *g*, der negative bei *c* auf die ableitenden Drahtbürsten und von da in die Leitung über.

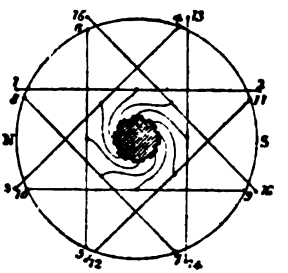
Bei der weiteren Drehung der Trommel in der Richtung des Pfeiles kommt zwar der Sector *b* an die Stelle von *c* und ebenso *f* an die Stelle von *g*, doch ändert das nichts an dem Sachverhalte, dass der positive Strom stets an derselben Raumstelle auf die bei *g* feststehende Ableitebürste, und ebenso der negative Strom auf die bei *c* befindliche Bürste aus der Maschine in die Leitung übergeführt wird.

Hiernach ist klar, dass der von der *Hefner-Alteneck*schen Trommelmaschine in die Leitung entsendete Strom stets eine und dieselbe Richtung und bei gleichbleibender Umlaufsgeschwindigkeit dieselbe Stärke behält, weil die bei

Digitized by Google

den einzelnen Umläufen der Trommel in den acht Drahtbündeln erzeugten Ströme von ungleicher Stärke sich bei jeder Umdrehung zu einem einzigen Strome zusammensetzen, dessen Intensität nur von der Geschwindigkeit der Drehung abhängig ist. Die in Fig. 128 dargestellte Wicklung von *Hefner-Alteneck* hat den grossen Nachtheil, dass sie nicht symmetrisch ist. In Folge dessen ist die Wicklung schwierig auszuführen, und ausserdem sind auch nicht alle einander entsprechende Theile des Collectors elektrisch gleichwerthig, da nicht immer die Windungen, welche auf der Trommel einander gegenüberliegen, auch mit diametralen Segmenten des Collectors in Verbindung stehen; der letzte Umstand begünstigt die Bildung von Funken. Es wird daher gegenwärtig die Wicklung nach einem anderen Schema, das wir in Fig. 129 abbilden, ausgeführt, und das von

Fig. 129.



Wicklung des Collectors von Frölich.

Frölich erfunden wurde. Die Verbindung der einzelnen Windungen der Trommel mit dem Collector ist dabei vollständig symmetrisch und die genannten Nachtheile sind hier beseitigt.

56. Die Siemens-Halske'sche magnet-elektrische Trommelmaschine für den Kleinbetrieb. *(System v. Hefner-Alteneck für Laboratoriumszwecke.)* Welche Vortheile die magnet-

Digitized by Google

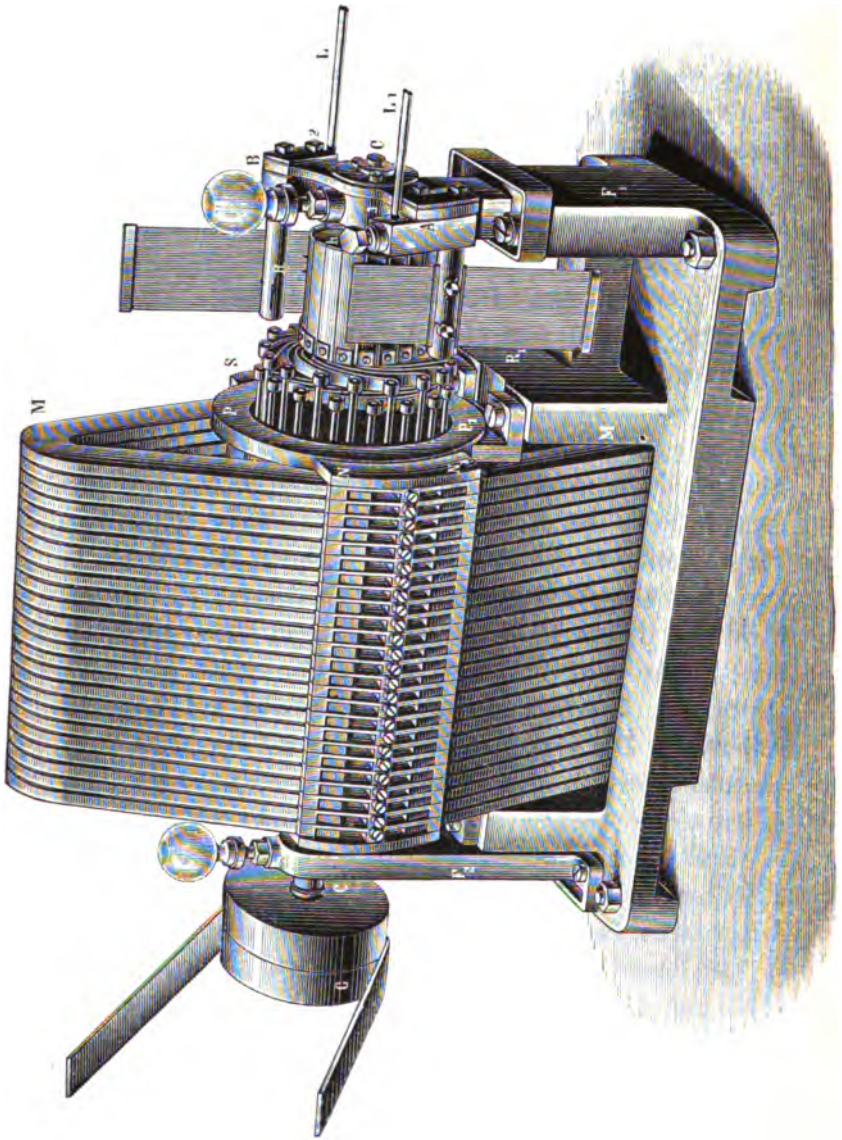
elektrischen Handmaschinen mit continuirlichem Strom von gleichbleibender Richtung für den Gebrauch in physicalischen Cabinetten, in Laboratorien und bei Vorlesungen darbieten, haben wir bereits in §. 37 erwähnt. *Siemens-Halske* bauen zu diesen Zwecken die Trommelmaschine in zwei verschiedenen Formen, von denen die eine für die Kraft eines Mannes mit Zahnrad und Kurbel, die andere für einen grössern Kraftaufwand mit Riemenscheibe versehen ist.

Die Figur 130 stellt die letztere Sorte in perspectivischer Ansicht dar. Der inducirend wirkende Theil der Maschine besteht aus 50 V-förmig gestalteten Stahlmagneten $M\,M$, welche in 25 vertical stehenden und parallel an einander gereihten Paaren so befestigt sind, dass sich die einzelnen Magnete nicht berühren und alle Nordpole $N\,N_1$ auf der einen und alle Südpole $S\,S_1$ auf der anderen Seite der Maschine liegen. In dieser Anordnung bilden sowohl die 50 Nordpole als auch die 50 Südpole je zwei über einanderliegende horizontale Reihen; je zwei benachbarte Reihen gleichnamiger Pole sind durch bogenförmige Stücke weichen Eisens, welche das rechte und linke Drittel des Trommelumfanges einschliessen, mit einander verbunden. Das eine Bogenstück bildet auf der einen Seite einen einzigen, an allen Puncten nordmagnetischen Pol, das andere einen einzigen Südpol; beide Stücke wirken daher in ihrer ganzen Ausdehnung auf den in der Trommel befindlichen Eisenkern durch Influenz ein, wie das bereits in dem vorigen Paragraphen näher erläutert worden ist.

Den Raum zwischen diesen beiden bogenförmigen Stücken $N\,N_1$ und $S\,S_1$ nimmt die mit Draht überzogene Trommel ein; ihre Achse $C\,C$ ruht in den Lagern $F_1\,F_2$ und kann mittelst einer Kurbel von der Hand oder durch irgend eine von einem grössern Motor abzugebende Kraft mittelst der Riemenscheibe G (Fig. 130) in eine schnelle Umdrehung versetzt werden. Auf der der Riemscheibe entgegengesetzten

Digitized by Google

Fig. 130.



Siemens-Halske's Maschine für Riemenbetrieb.

Digitized by Google

Seite befindet sich der Stromsammler mit der Sectorenscheibe, gegen deren Umfang entweder ein Paar von einander isolirte metallene Rollen oder ein Paar isolirte metallene Bürsten $R R_1$ anfedern, um den in den Drahtwindungen der Trommel erzeugten Inductionsstrom aufzunehmen und über die Klemmen 2, 3 in die Leitung abzuführen.

Wir haben bei der Besprechung des Stromlaufes in dem vorigen Paragraphen die magnetisirende Wirkung der in den Drahtumwindungen inducirten Ströme auf den innern Eisenkern $n\ s\ s_1\ n_1$ unberücksichtigt gelassen. Diese Ströme aber sind derart, dass sie für sich allein an den Enden eines wagerechten Durchmessers des Kernquerschnittes zwei Magnetpole entwickeln und dadurch eine Verschiebung der in demselben Kerne von den äusseren feststehenden Magneten inducirten Pole im Sinne der Rotation der Trommel bewirken. Wenn daher die Maschine Ströme von grösstmöglicher Stärke abgeben soll, so darf die Verbindungslinie der beiden Contactrollen oder der Drahtbürsten nicht horizontal liegen, sondern sie muss ein wenig gegen den Horizont geneigt sein. Aus diesem Grunde sind daher auch diese Ableiter mit dem Lagergestelle F_1 nicht fest verbunden, sondern wie aus der Fig. 130 deutlich zu ersehen ist, an einen besondern Träger $A B$, welcher sich verstellen lässt, isolirt befestigt. An den Enden dieses Trägers befinden sich die Klemmen 2, 3 zur Aufnahme der beiden Leitungsdrähte $L L_1$.

Die vorstehend beschriebene magnet-elektrische Maschine wird in verschiedenen Grössen ausgeführt. Eine Maschine, welche eine Länge von circa 44½ cm, eine Höhe von 46 cm und eine Breite von 23½ cm hat, kommt bei einem innern Widerstande von nur 0,42 Ohm an elektromotorischer Kraft 8 hintereinander geschalteten *Bunsen*'schen Elementen gleich, liefert aber des bedeutend geringern Widerstandes wegen eine erheblich grössere Elektricitätsmenge,

Digitized by Google

als 8 *Bunsen*'sche Elemente gewöhnlicher Sorte geben würden, wenn sie von einem kräftigen Manne rasch gedreht wird. Ein 30cm langer und 1/2mm dicker Platindraht wird mit Leichtigkeit glühend gemacht; grosse *Ruhmkorff*-sche Inductionsmaschinen, sowie elektro-magnetische Maschinen jeder Art werden durch den Strom der Maschine in regelmässigem Gange erhalten, wie denn überhaupt die Maschine für den Bedarf in physicalischen Cabinetten und bei öffentlichen Vorlesungen eine ebenso einfache als bequeme, stets dienstbereite und kräftige Elektricitätsquelle darstellt, welche in den meisten Fällen eine galvanische Batterie entbehrlich macht.

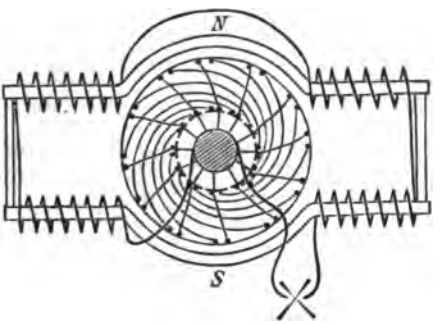
Wird die Trommel von zwei bis vier Mann am Schwungrade gedreht, so erzeugt der Strom in einer kleinen elektrischen Lampe ein elektrisches Licht, welches sich zu Vorlesungszwecken noch gut verwenden lässt.

57. Die Siemens-Halske'sche dynamo-elektrische Trommelmaschine für den Grossbetrieb. *(System v. Hefner-Alteneck für elektrische Beleuchtung und galvanische Niederschläge.)* Wir haben bereits früher erwähnt, dass in metallischen Massen, die sich in einem magnetischen Felde bewegen, Inductionsströme (*Foucault*'sche Ströme) erzeugt werden, die, wenn sie nicht abgeleitet werden, sich in Wärme umsetzen und je nach den Umständen eine bedeutende Erwärmung der bewegten Metallmassen zur Folge haben. So lange daher in der vorhin beschriebenen magnet-elektrischen Maschine der eiserne Kern mit den Drahtumwindungen der Trommel sich durch das magnetische Feld der äusseren Magnetpole bewegt, sind diese Ströme nicht zu vermeiden; man kann sie nur dadurch in etwa abschwächen, dass man den Kern nicht aus massivem Eisen, sondern aus Eisendrahtwindungen herstellt. Bei denjenigen Maschinen aber, welche zur Erzeugung von sehr grossen Elektricitätsmengen gebaut und daher nach dem dynamo-elektrischen Princip ein-

Digitized by Google

gerichtet werden, würden die genannten *Foucault*'schen Ströme eine bedeutende Erwärmung der Maschine im Gefolge haben, und ausserdem würde zum Drehen des durch die starken Elektromagnete kräftig polarisirten Eisenkernes eine erhebliche Kraft erforderlich sein, für welche kein Aequivalent an nutzbarer Arbeit zu finden wäre. Diese Erwägungen mussten den Erfinder bestimmen, in den für den Grossbetrieb, also auch speciell für die elektrische Beleuchtung bestimmten dynamo-elektrischen Maschinen, den im Innern der Trommel befindlichen Eisenkern festzulegen und ihn an der Umdrehung der Trommel nicht Theil nehmen zu lassen. Selbstredend wird die Construction der Trommel und ihre Lagerungsweise dadurch bedeutend verwickelter, und zwar um so mehr, als immer darauf Bedacht genommen werden muss, dass sich der lange Trommelmantel mit seinen Drahtumwindungen in dem möglichst engen Raume zwischen den Polarmaturen der Elektromagnete und dem festliegenden innern Kerne durchzudrehen hat, ohne an irgend einem Puncte anzustossen.

Fig. 131.



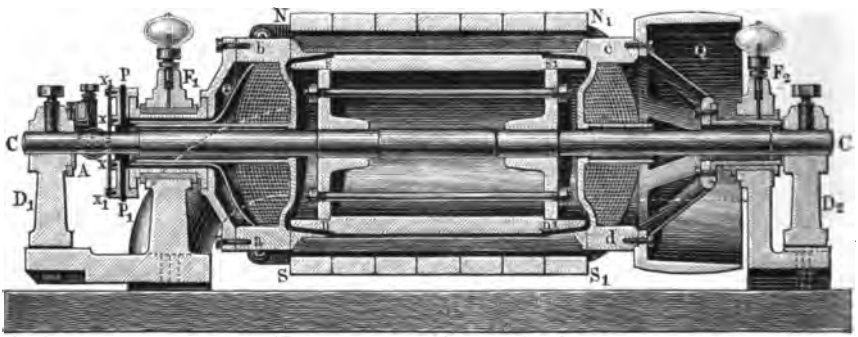
Durchführung des dynamo-elektrischen Princips bei der S.-H. Maschine.

Die Fig. 131, 132 und 133 zeigen die Einzelheiten einer so eingerichteten dynamo-elektrischen Maschine nach *v. Hefner-Alteneck's* System, und zwar in schematischer Dar-

Digitized by Google

stellung, im Längsschnitte der Trommel und der Seitenansicht der ganzen Maschine. *a b c d* ist die Trommel von dünnem Neusilberblech, auf deren Mantel der Draht in vielen Windungen und in acht einzelnen Stücken nach der im §. 55 beschriebenen Weise aufgezogen ist. Auf jeder Stirnfläche der Trommel ist ein hohles Rohr aufgesetzt; beide Rohre bilden die Achse der Trommel und liegen in den mit Schmierbüchsen versehenen Lagern F_1 und F_2. Durch die hohlen Rohre tritt eine in den Ständern D_1 und D_2 festgeschraubte Eisenstange *C C* hindurch und in das Innere der Trommel hinein, woselbst der durch zwei aneinander geschraubte Scheiben zusammengehaltene Eisenkern $n\, n_1\, s_1\, s$ auf der Eisenstange *C C* befestigt ist. Auf ihrer Aussenseite ist die Trommel an zwei gegenüber liegenden Stellen auf etwa je einem Drittel des Umfanges der ganzen

Fig. 132.



Siemens-Halske's dynamo-elektrische Grossmaschine. (Die Trommel.)

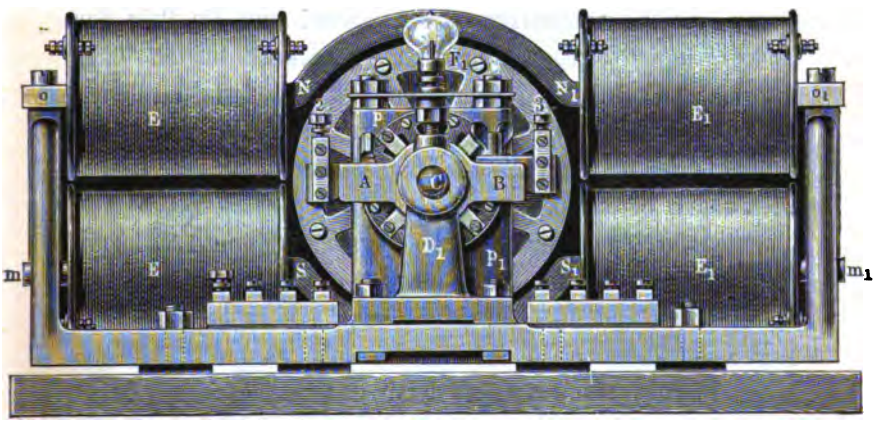
Länge nach von zwei gebogenen Eisenarmaturen *N* N_1 und *S* S_1 (Fig. 132 und 133) umgeben. Dieselben gehen so nahe als möglich an den Trommelmantel heran und bilden mit dem feststehenden innern Hohlkerne $n\, s\, s_1\, n_1$ einen engen ringförmigen Raum, das magnetische Feld, in welchem sich die Trommel mit ihren Drähten *a b c d* frei drehen muss. In das oben erwähnte, in F_1 gelagerte vordere hohle Achsen-

Digitized by Google

rohr der Trommel ragt ausserdem noch ein Hohlzapfen hinein, der auf der Stirnfläche der Trommel befestigt ist, damit zwischen ihm und dem hohlen Achsenrohre die Drahtenden *e e* der einzelnen Drahtpartieen nach dem an dem Hohlzapfen angeschraubten Stromsammler $p\,p_1$ hindurchgeführt werden können.

Die beiden bogenförmig gestalteten Eisenarmaturen $N\,N_1$ und $S\,S_1$ (Fig. 133) erhalten ihren Magnetismus dadurch, dass sie in geradlinige Schenkel $N\,o$, $S\,m$ und $N_1\,o_1$, $S_1\,m_1$ auslaufen, welche die Kerne der Elektromagnete $E\,E$ und $E_1\,E_1$ bilden, während andererseits die Enden $o\,m$ und $o_1\,m_1$ dieser Kerne durch starke Zwischenstücke $o\,m$ und $o_1\,m_1$ von weichem Eisen verbunden sind, welche zugleich als Seitentheile

Fig. 133.



Siemens-Halske's dynamo-elektrische Grossmaschine.

des gusseisernen Maschinengestelles dienen. Auch hier sind die Drähte der beiden hufeisenförmigen Elektromagnete E und E_1 derartig aufgewunden, dass gleichnamige Pole einander zugekehrt sind und demnach alle Puncte des diese Pole verbindenden Eisenbogens eine und dieselbe Polarität zeigen. Auf diese Weise wird die Trommel und der innere Eisenkern auf etwa $^2/_3$ ihres Umfanges und der ganzen Länge

Digitized by Google

nach von den feststehenden äusseren Magnetpolen $N\,N_1$ und $S\,S_1$ umfasst und dadurch, wie vorhin gesagt, ein sehr ausgedehntes magnetisches Feld von um so grösserer Intensität gebildet, je kräftiger die erzeugten Inductionsströme und die durch diese letzteren entwickelten Pole der Elektromagnete sind.

Behufs Durchführung des dynamo-elektrischen Princips werden die Drahtwindungen der beiden Elektromagnete $E\,E$ und $E_1\,E_1$ in die von den Stromsammel-Bürsten oder von den Contactrollen auslaufenden und nach aussen führenden Leitungsdrähte eingeschaltet, so dass der von der Maschine erzeugte Strom sowohl die Drahtpartieen der Trommel, als auch die Umwindungsdrähte der Elektromagnete und die elektrische Lampe hintereinander durchläuft und beide Systeme, der Inductionsstrom der Trommel und die Pole der Elektromagnete, gegenseitig sich verstärkend bis zu einer maximalen Grenze auf einander einwirken, welche durch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel, die Masse des Eisens in den Eisenkernen der Magnetschenkel und die Drahtwicklungen bedingt ist.

Die Maschine, welche in den Figuren 132 und 133 dargestellt worden ist, hat eine Länge von etwa 110½ cm bei 32 cm Höhe und 46½ cm Breite, und liefert bei 450 Umläufen der Trommel in der Minute, wobei zu ihrem Betriebe sechs Pferdekräfte erforderlich sind, ein elektrisches Licht von 14000 Normalkerzen. Der von ihr erzeugte Strom vermag sogar einen Kupferdraht von 1 mm Dicke und 12 m Länge in Rothglühhitze zu versetzen.

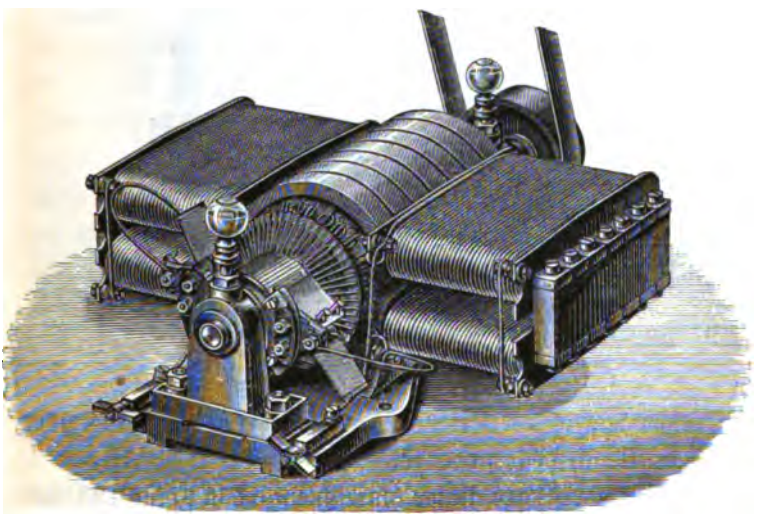
Die Maschinen von mittlerer und kleinster Grösse werden ausschliesslich wegen der damit verbundenen Vereinfachung der Construction so gebaut, dass der Eisencylinder mit den Windungen fest verbunden ist und mit denselben umläuft. Die Feststellung dieses Cylinders dagegen ist dann angezeigt, wenn ein sehr häufiger Polwechsel eintritt und wenn

Digitized by Google

es auf die äusserste Ausnutzung der Arbeitskraft ankommt, was in der Regel nur bei grösseren Maschinen der Fall ist.

Die Figur 134 zeigt eine *Siemens-Halske*'sche dynamo-elektrische Lichtmaschine (System *v. Hefner-Alteneck*) anderer Construction in perspectivischer Ansicht. Die Elektromagnete haben die plattenförmige Gestalt, wie in den Maschinen von *Wilde*. (Fig. 65.) Die Ableiter sind Metallbürsten, und die grosse Anzahl von Strahlstücken im Stromsammler zeigt, dass sich eine grössere Zahl von einzelnen Drahtgruppen auf der Trommel befindet. Die Enden der einzelnen Drahtgruppen, mit denen die Trommel bewickelt ist, werden unter Weglassung der Collectorscheibe ganz in der Art unter einander verbunden und zu den durch Asbestpapier isolirten Strahlstücken der Trommelachse geleitet,

Fig. 134.



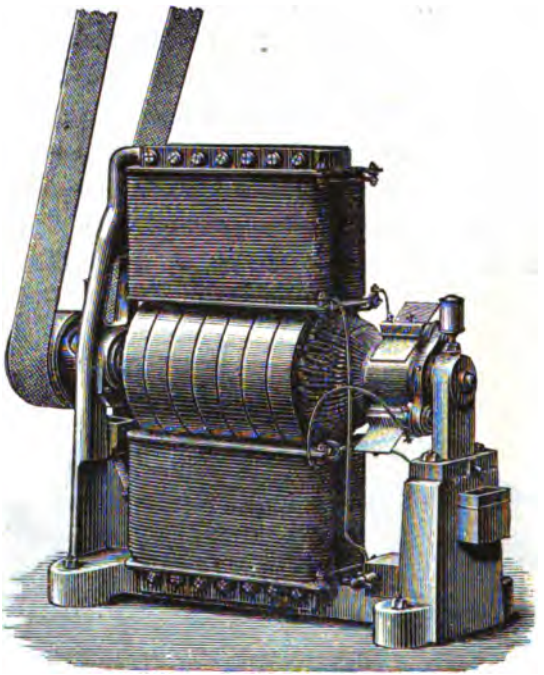
Siemens-Halske's dynamo-elektrische Maschine. (Horizontales Modell.)

wie wir es bei der *Gramme*'schen Maschine beschrieben haben; Contactrollen werden daher nicht mehr angewandt und statt derselben dienen flache federnde Bänder (Bürsten)

Digitized by Google

aus Kupferdrähten als Ableiter. Diese Bürsten sind, nicht wie bei anderen Maschinen beweglich, sondern fest. Um die Funkenbildung möglichst zu vermeiden sind zuweilen zwei Bürsten auf jeder Seite angebracht wie in Figur 134 u. 136. In jüngster Zeit werden die Maschinen, wie in Fig. 134

Fig. 135.



Maschine von Siemens & Halske. (Vertikales Modell.)

zu sehen ist, in verticaler Lage gebaut, so dass dieselben weniger Raum beanspruchen.

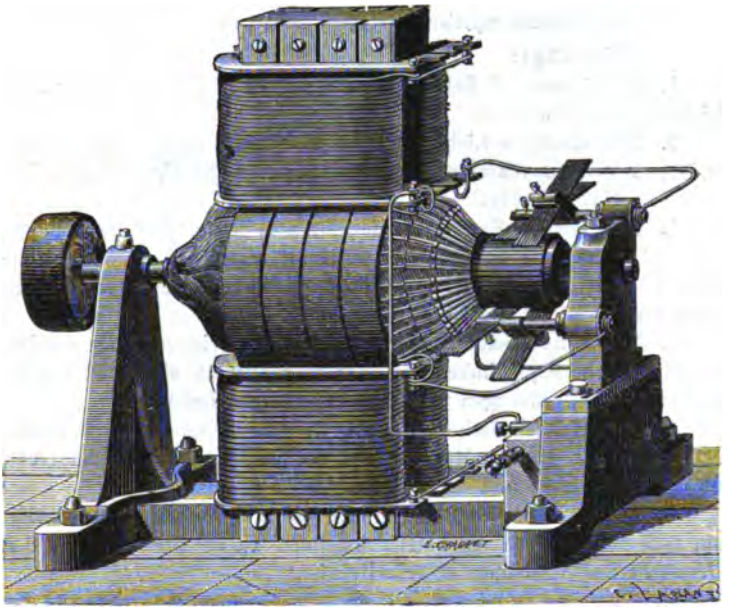
Die kleinere Sorte dieser Maschinen, die in Figur 135 dargestellt ist, ist 698mm lang, 572mm breit und 233mm hoch; die Trommel allein ist 388mm lang und enthält 28 Drahtgruppen mit einem 56theiligen Collector. Das Gewicht beträgt 115kg, die Maximalgeschwindigkeit der Trommel 900 Touren in der Minute und die dabei erzeugte Lichtstärke

Digitized by Google

1400 Normalkerzen. Sie erfordert zu ihrem Betriebe $1^1/_2$ Pferdekraft.

Die mittlere Sorte unterscheidet sich von der vorigen nur sehr wenig in der Construction. Sie ist 757 mm lang, 700 mm breit und 284 mm hoch; die Trommel allein ist 456 mm lang und ebenfalls mit 28 Drahtgruppen bewickelt;

Fig. 136.



Maschine von Siemens & Halske. (Verticales Modell mit doppeltem Bürsten.)

der Collector besteht daher ebenfalls aus 56 Strahlstücken, gegen welche die Drahtbürsten anfedern. Die Maschine wiegt 200 kg und erzeugt bei der Maximalgeschwindigkeit von 700 Touren in der Minute eine Lichtstärke von 4000 Normalkerzen. Zu ihrem Betriebe sind $3^1/_2$ Pferdekräfte erforderlich. Diese Zahlen dienen nur zur approximativen Schätzung. Die Fabrik ist immer bestrebt, ihre Maschinen zu verbessern, und werden hierdurch die Dimensionen und

Digitized by Google

die Leistungsfähigkeit in dieser oder jener Richtung verändert.

Zwei *Siemens*-Maschinen mittlerer Grösse, neben einander geschaltet, unterlagen gleich *Gramme*'schen Maschinen[1]) einer eingehenden Untersuchung seitens der Königlich englischen Commission in Chatham, welche ihr Urtheil dahin zusammengefasst:

„Zwei *Siemens* mittlerer Grösse, neben einander geschaltet.

Vorzüge:

1. Es können bei Benutzung der einzelnen Stromerzeuger zwei Lichter erzeugt werden.

2. Die erzeugte Lichtstärke ist bedeutend grösser wie bei den anderen versuchten Maschinen, mit Ausnahme von den *Gramme, D* und *C*.

Nachtheile:

1. Das leichte Erwärmen der Drähte, wenn das Bedienungspersonal nicht sehr mit der Verwendung dieser Stromerzeuger vertraut ist; auch ist es ein Nachtheil, dass die rotirende Trommel sich stärker erwärmt als die Elektromagnete.

2. Wenn die Stromerzeuger neben einander eingeschaltet werden, so tritt leicht eine Umkehrung des Magnetismus ein, und werden dadurch grosse Störungen und Zeitverluste verursacht.

3. Ein unregelmässiges Functioniren der Lampe bewirkt starke Funkenbildung an den Bürsten und dadurch eine rasche Abnutzung des Stromsammlers und der Bürsten.

Es ist aus diesen Gründen eine grössere Erfahrung nothwendig, um mit diesen Maschinen zufriedenstellend zu arbeiten, als bei den *Gramme*'schen Maschinen erforderlich ist."

An die Lichtmaschine älterer Construction (Fig. 134) schliesst sich in ihrem Aussehen die

58. Dynamo-elektrische Maschine für Reinmetall-Gewinnung von Siemens & Halske an. Fig. 138 hierzu gibt eine perspectivische Ansicht und Fig. 137 einen Längenschnitt durch den Inductor derselben. Sie verkörpert dasselbe Princip wie jene; nur die Zahl, Stärke und Herstellungsweise der Umwindungen ist eine ganz andere. Aus früheren Bemerkungen folgt, dass bei ihr verhältnissmässig nur wenige,

1) Vgl. p. 210.

Digitized by Google

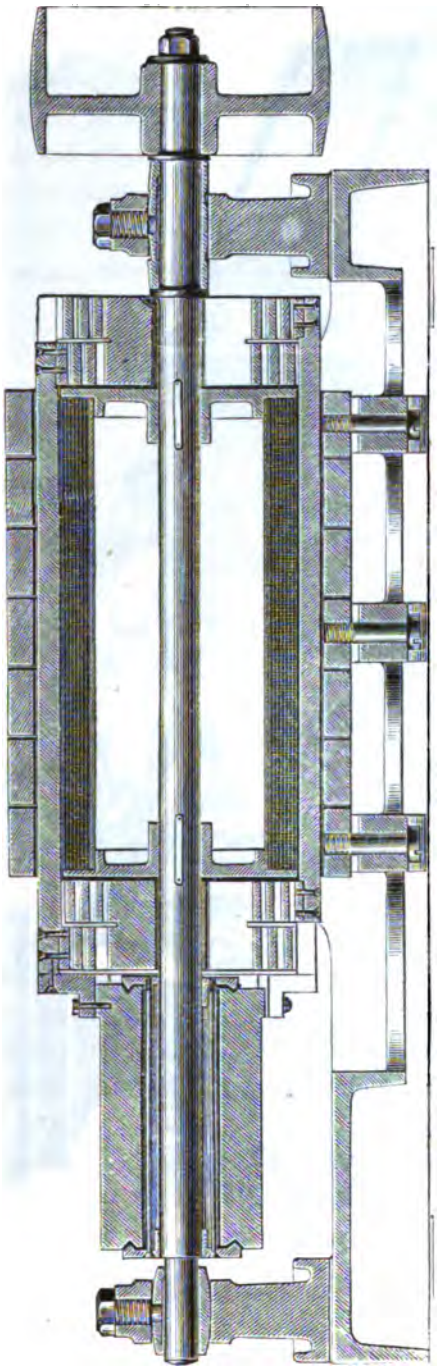
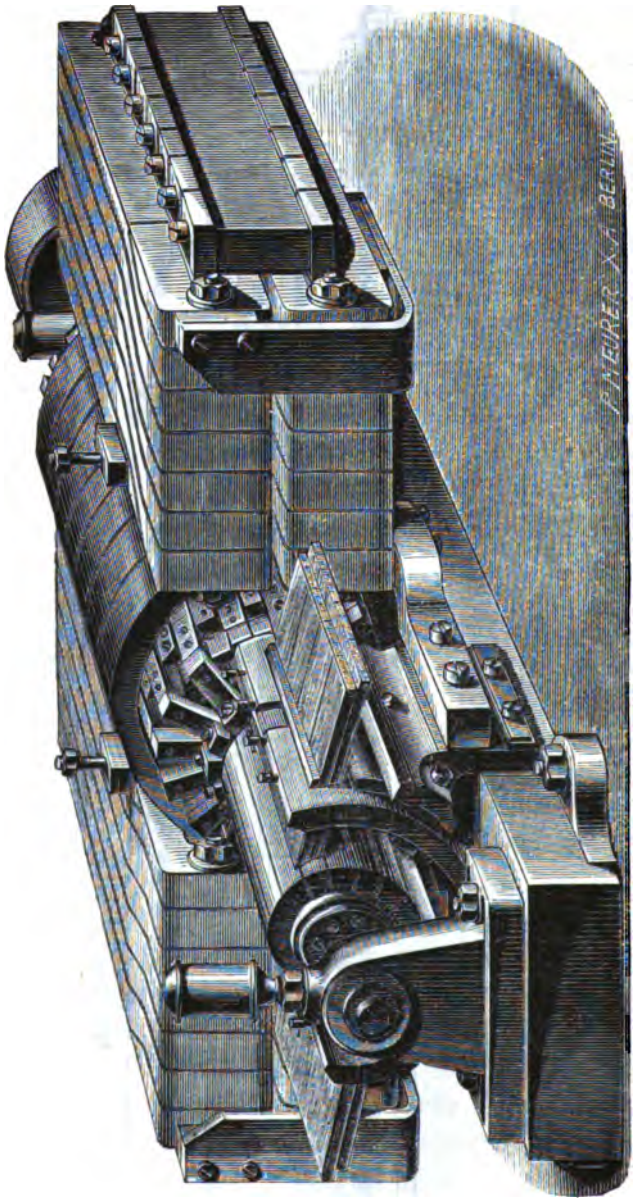


Fig. 137.

Maschine für Reinmetall-Gewinnung von Siemens & Halske. (Längenschnitt.)

Digitized by Google

Fig. 138.



Grosse dynamo-elektrische Maschine für Reinmetall-Gewinnung von Siemens & Halske.

Digitized by Google

aber sehr dicke Umwindungen vorhanden sein müssen. Diese sind daher aus dicken viereckigen Kupferbarren hergestellt; der Leitungsquerschnitt einer jeden Umwindung der Elektromagnete beträgt z. B. 13qcm. Die Schenkel derselben tragen bei einer Umwindungslage nur 7 Umwindungen; auch der Cylinder ist nur mit einer Leitungslage bedeckt, wobei die Ueberkreuzungen an den Stirnflächen durch eigenthümlich geformte Kupferstücke von entsprechend grossem Querschnitte hergestellt sind. Die Verbindungen mit den Sectoren des Stromsammlers sind durch starke kupferne Winkel bewerkstelligt. Die Isolationen zwischen den einzelnen Umwindungen sind aus unverbrennlichem Asbest hergestellt. Daher kann die Leistungsfähigkeit der Maschine so hoch gesteigert werden, dass sogar die so dicken Leitungstheile ohne Gefahr für die Maschine sehr heiss werden dürfen. Drei dieser Maschinen befinden sich bereits in dem Königlichen Hüttenwerk zu Oker i. H. in unausgesetztem Betrieb; eine jede liefert stündlich 12kg Kupfer bei Verbrauch von 8—10 Pferdekräften.

Siemens & Halske liefern auch kleinere Maschinen dieser Art, welche für die Bedürfnisse der Galvanoplastik bestimmt sind und diesen entsprechend verschiedene Schaltung und Wicklung erhalten.

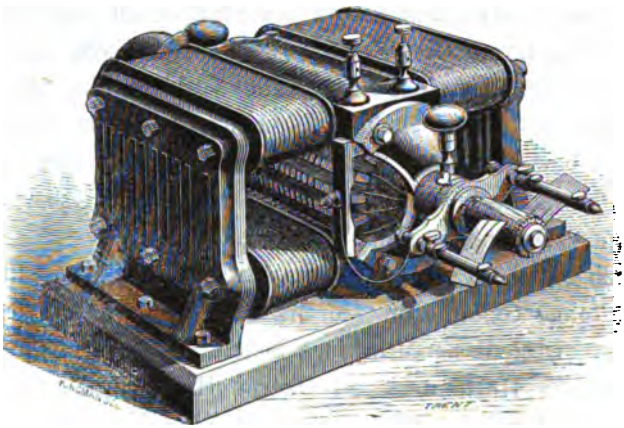
Vielfache Erwähnung findet in der neuesten Zeit die

59. **Lichtmaschine von Weston** (**H. G. Möhring** in Frankfurt a. M.), welche, wenn sie auch anderen Maschinen in einzelnen Theilen ähneln mag, dennoch als ein durchaus origineller Apparat anerkannt werden muss. Bei dem alten Modell (Fig. 139) verwandte *Weston* zur Herstellung der Elektromagnete Guss- und Schmiedeeisen. Aus letzterem waren die bogenförmig gestalteten Armaturen (NN_1 und SS_1, Fig. 133) verfertigt, aus Gusseisen die eigentlichen Kerne der Elektromagnete. Diese waren einerseits an verticalen, durchbohrten Trägern befestigt und andererseits mit den

Digitized by Google

erwähnten Armaturen fest verbunden, welche aus mehreren einzelnen, durch gleichmässige Zwischenräume von einander getrennten Platten bestanden. Diese Anordnung, verbunden mit der Durchbohrung der verticalen Träger, der Entfernung der Elektromagnete sowie der eigenartigen Construction des

Fig. 139.



Weston's Lichtmaschine.

Inductors, bedingte eine gute Ventilation, welche eine zu grosse Erhitzung der einzelnen Theile ausschloss.

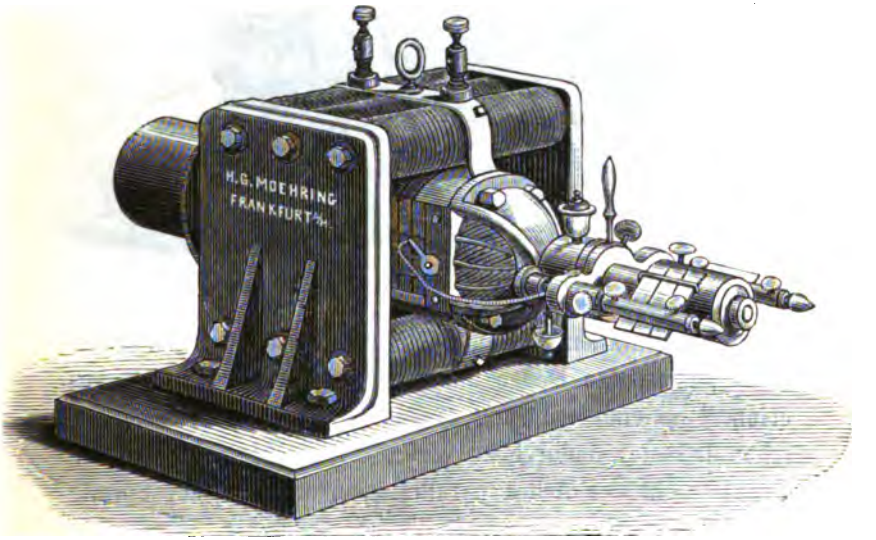
Noch mehr ist dieses der Fall bei dem in Fig. 140 dargestellten Modell, welches durch die Anordnung der Elektromagnete eine schwache Aehnlichkeit mit der in Fig. 103 abgebildeten Form der *Gramme*'schen Maschine besitzt. Die Elektromagnete bestehen aus je sechs cylinderförmigen Magneten, und zwar sind sechs derselben, welche in einem obern Polstücke sich vereinigen, oberhalb des Inductors, sechs andere aber, welche ein unteres Polstück verbindet, unterhalb des Inductors so angebracht, dass die beiden Polflächen entgegengesetzte Polarität haben.

Die Spiralen der Magnete bilden eine ununterbrochene Leitung, welche dem dynamo-elektrischen Princip gemäss der vom Inductor erzeugte Strom durchfliessen muss, um anderer-

Digitized by Google

seits wiederum ein kräftiges magnetisches Feld zu erhalten, in welchem der Inductor mit einer Geschwindigkeit von etwa 900 Touren per Minute sich bewegt. Die neue vielfach verbesserte Form der Dynamo-Maschine zeigen Fig. 141, 144. Die Lager für den Inductor und die Elektromagnete sind aus einem Stück gegossen. Da die directe Verbindung beider zur Bildung des Lagers der Inductorwelle eine schädliche Bindung des Magnetismus beider Elektromagnetkerne zur Folge

Fig. 140.



Maschine Weston-Möhring.

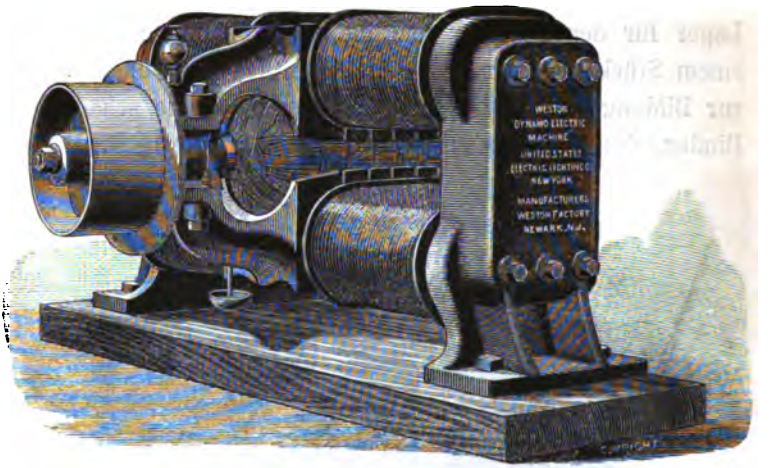
haben würde, sind die letzteren durch ein dickes Stück Bronze getrennt. Dieses bildet das Lager des Inductors.

Diejenigen Theile der Polstücke, welche den Inductor umschliessen, sind nicht wie bei der *Gramme*'schen Maschine fest und zusammenhängend, sondern bestehen aus einer Reihe von Zungen, welche bei den meisten Maschinen von ungleicher Grösse sind, derart, dass die Enden derselben auf beiden Seiten der Armatur ellipsenförmige Figuren bilden. *Weston* beweist, dass durch diese Anordnung eine grössere

Digitized by Google

Regelmässigkeit des Stromes erzielt wird, indem die Induction der Magnete auf die Spiralen des Inductors nicht

Fig. 141.



Die neue Weston-Maschine. (Seitenansicht.)

gleichzeitig in allen Theilen eines Drahtes, sondern von seiner Mitte aus zu den Enden hin und umgekehrt erfolgt. Dieses erinnert an eine Neuerung *Trouvé's*, welcher den *Siemens*'schen Inductor dadurch zu verbessern strebte, dass er die Drähte nicht der Achse parallel, sondern in einer Spirale anordnete.

Fig. 142.

Weston's Armatur. (Aeltere Form.)

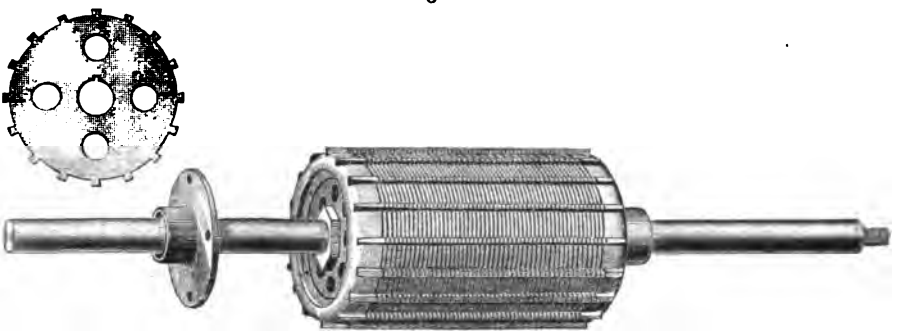
Die Schlitze in den Polstücken, wodurch diese in Zungen getheilt werden, haben einen zweifachen Zweck. Zunächst

Digitized by Google

verhindern sie, dass in den Polstücken durch Induction des Inductors Gegenströme entstehen; dann aber wird durch diese Anordnung die Ventilation des Inductors und des magnetischen Feldes wesentlich gefördert und so die Maschine vor Ueberhitzung gesichert.

Der Inductor der *Weston*'schen Maschine (Fig. 142 u. 143) hat eine sehr eigenthümliche Form und ist, obgleich er, um-

Fig. 143.



Der Inductor der Weston-Maschine und eine einzelne Scheibe desselben. (Neue Form.)

wickelt und an Ort und Stelle befestigt, dem *Siemens*'schen ähnlich sieht, von dem letztern durch die Construction des Eisenkernes vollständig verschieden. Der Kern des Inductors ist nämlich aus einer Anzahl Scheiben zusammengesetzt, welche aus Eisen gestampft und möglichst dünn angefertigt sind, damit in denselben der Wechsel der Polarität rasch erfolgen kann. Sie sind einem Speichenrade zu vergleichen, welches auf dem Umfange 16 vorspringende Zähne und ebenso viele Einschnitte hat. Der Kern wird durch Aneinanderreihen von 36 dieser Scheiben auf der Triebwelle gebildet; doch sind die einzelnen Scheiben durch kleine Einlagen von einander getrennt, so dass sich zwischen denselben Lufträume befinden. Da die Scheiben so fixirt sind, dass die zahnartigen Erhöhungen gerade Linien bilden, so gleicht das Ganze einem Cylinder, welcher der Länge nach

Digitized by Google

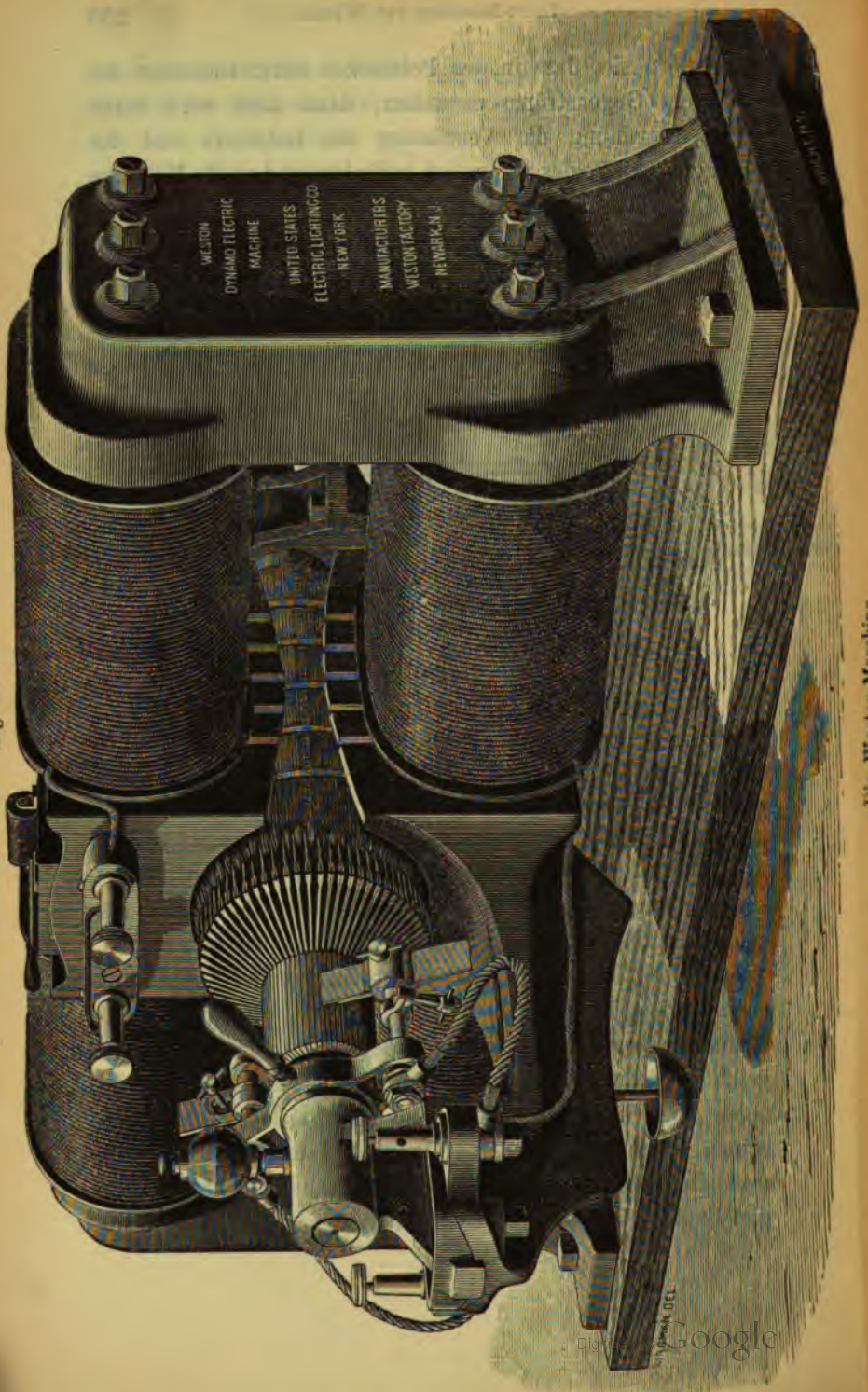


Fig. 144.

Die Weston-Maschine.

Digitized by Google

von Rinnen durchzogen ist, deren Wände einander parallel laufen und gleich weit von einander entfernt sind. Der so gebildete Kern wird schliesslich mit halbkugelförmigen Endstücken geschlossen, welche mit ihrem Rande eben den Boden der Rinnen berühren.

In die letzteren — 16 an Zahl — kommen nun die Drähte zu liegen; die Spiralen sind ähnlich wie bei dem *Siemens*'schen Inductor gewunden, d. h. der Draht durchläuft eine Rinne, biegt über die Kuppel und kehrt durch die entsprechende Rinne auf der anderen Seite zurück. Dabei erlaubt aber die eigenthümliche Construction des Inductors sowie der Polflächen, dass zwischen den einzelnen Drahtwindungen fortwährend Luft zum Abkühlen circuliren kann. Während also bei der Maschine *Siemens-Halske* ein leichtes Erwärmen der Drähte eintritt, ist ein solches bei der Maschine *Weston-Möhring* fast ausgeschlossen, da die Construction der Polflächen sowie insbesondere des Inductors eine ausnahmsweise gute Ventilation des Inductors gestattet. Der Inductor ist nämlich dem Gesagten gemäss nicht nur hohl, sondern besitzt auch, da an jeder der Scheiben, aus denen er besteht, trotz der Umwicklung mit Draht 16 Oeffnungen von innen nach aussen führen, im Ganzen 576 Oeffnungen. Da ausserdem noch die Endflächen mit Oeffnungen versehen sind, so wird, während die Maschine arbeitet, ein beständiger starker Luftstrom durch den Inductor getrieben, welcher eine Erhitzung der langen Drahtwindungen der Maschine nicht aufkommen lässt. Somit muss die Haltbarkeit und Leistungsfähigkeit der Maschine eine vorzügliche sein, diese, da nur wenig elektrische Kraft in Wärme verwandelt wird und so zur nutzbaren Lichterzeugung verloren geht, jene, da die Drähte niemals glühend werden und eine Zerstörung der isolirenden schützenden Umhüllung nicht erfahren können. Uebrigens sei bemerkt, dass die *Weston*'sche Maschine an und für sich schon desshalb keine starke

Digitized by Google

Erhitzung erfährt, weil sie selbst in dem Falle, dass sie 10 *Weston*'sche Lampen speisen müsste, einen Strom von nur wenig intensiver Spannung zu liefern hat, was später zu erörtern ist. Dadurch ist zugleich ein den neuesten Erfahrungen gemäss bei der Erzeugung intensiver Ströme auftretendes Moment — die lebensgefährliche Wirkung einer zufälligen Berührung der Drähte — vermieden.

Der Stromsammler ist dem Princip nach den bei den *Siemens*- und *Gramme*-Maschinen angewendeten Stromsammlern ähnlich. Bei den älteren *Weston*-Maschinen sind die einzelnen Segmente, wie die Figuren 139 und 142 zeigen, spiralförmig auf der Achse angeordnet und durch Luftschichten anstatt durch festes Isolirmaterial von einander getrennt. Die spiralförmige Anordnung der den Stromsammler bildenden Kupferstreifen hat den Zweck, dass die federnden Ränder der Bürsten bei der Rotation des Stromsammlers bei jeder Stellung mit zweien seiner Theile in Verbindung stehen, wodurch eine grössere Gleichförmigkeit der Stromstärke erzielt werden soll, allerdings auf Kosten der Intensität derselben. Bei den neueren Maschinen ist, wie Figur 145 zeigt, dieses Princip verlassen und die Kupferstreifen sind parallel zur Achse angeordnet.

Fig. 145.

Inductor und Collector der neuen Weston-Maschine.

Um Funken und Entladungen des elektrischen Stromes von einem Streifen zum andern möglichst zu verhüten, ist er bis aus 140 Abtheilungen zusammengesetzt. Auch die Windungen auf dem Inductor sind aus dem gleichen Grunde

Digitized by Google

eigenthümlich angeordnet. Fig. 146 zeigt schematisch das System der Verbindung der Windungen mit dem Collector für acht Abtheilungen; aber es ist leicht, dasselbe auf eine beliebige Anzahl von Abtheilungen auszudehnen. Be-

Fig. 146.

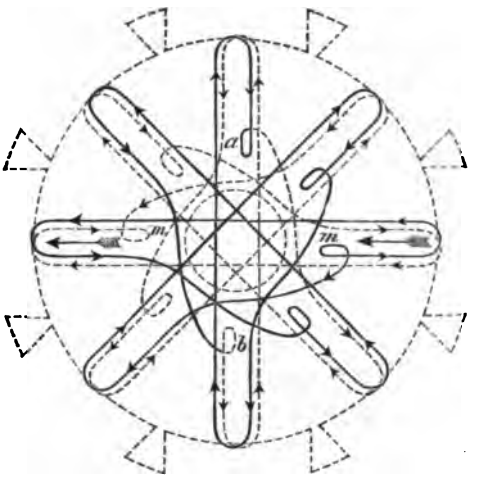


Diagramm der Wicklung des Inductors. (Weston-Dynamo.)

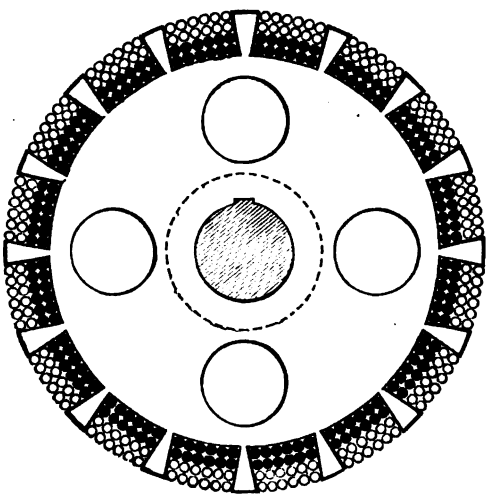
ginnen wir bei dem Puncte a, so folgen die Windungen der ausgezogenen Linie und überall, wo der Draht von einer Abtheilung in eine andere übertritt, ist eine Schleife angebracht zur Verbindung mit einem entsprechenden Segment des Collectors, wie dies in der Figur 145 angedeutet ist. Nachdem so vier Abtheilungen von Windungen gewickelt sind, ist der ganze Raum der Armatur, die acht Felder enthält, besetzt; es sind aber nur vier Verbindungsstellen mit dem Collector gebildet, während deren acht, für jedes Feld eine, nöthig sind. Um diese zu erhalten, wird ein zweiter Satz von Windungen gewickelt, welche durch die gebrochenen Linien angedeutet sind und welche auf gleiche Weise mit dem Collector verbunden werden.

Auf diese Weise wird der Inductor mit einer zweiten

Digitized by Google

Lage von Windungen bedeckt, und beide Lagen hängen in den Puncten *a* und *b* mit einander zusammen. Unter der Voraussetzung, dass in *m m* die Bürsten den Collector berühren, geben die Pfeile die Richtung des Stromes an. Man sieht, dass zwei benachbarte Linien, eine ganze und eine gebrochene, immer entgegengesetzte Stromrichtung haben. Das rührt daher, weil immer eine der Linien auf der hinteren, die andere auf der vorderen Stirnfläche der Armatur liegen. Wenn die Armatur erst mit dem einen Satz von Windungen bedeckt wird und dann mit dem zweiten Satz, so liegen die letzteren über den ersten, wie dies Fig. 147 andeutet, welche einen Querschnitt des Inductors mit Angabe der beiden Lagen in schwarz und weiss zeigt. In

Fig. 147.



Querschnitt durch die Armatur. 1. Art der Wicklung.

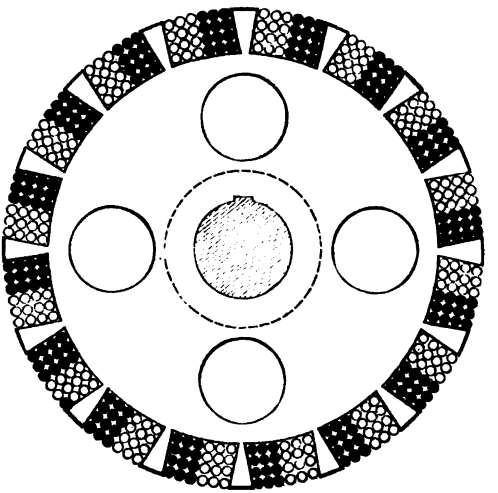
Folge dessen sind die oberen Windungen länger, aber auch näher den Polen der Elektromagnete, und sie besitzen ausserdem eine grössere Rotationsgeschwindigkeit, da sie weiter von der Achse abstehen. Die beiden Abtheilungen sind daher elektrisch gar nicht gleichwerthig und der

Digitized by Google

Collector zeigt starke Funken. Um dies zu vermeiden, werden die Abtheilungen nach Fig. 148 gewickelt, wo nun vollständige Symmetrie auch in elektrischer Hinsicht herrscht. Das in Fig. 149 (s. f. S.) dargestellte Schema wird oft benutzt, weil bei demselben die Wicklung einfacher auszuführen ist.

Die Anordnung des Collectors, wie er besonders für die Maschinen mit hoher Spannung benutzt wird, zeigt Fig. 150. Der Inductor enthält zwei ganz getrennte vollständige Wicklungen, unterschieden durch weisse und schwarze Linien, welche mit einander abwechseln. Auch der Collector enthält die doppelte Anzahl Sectoren und diese sind nun abwechselnd mit der weissen und schwarzen Wicklung verbunden. Es wird dadurch unmöglich gemacht, dass irgend

Fig. 148.

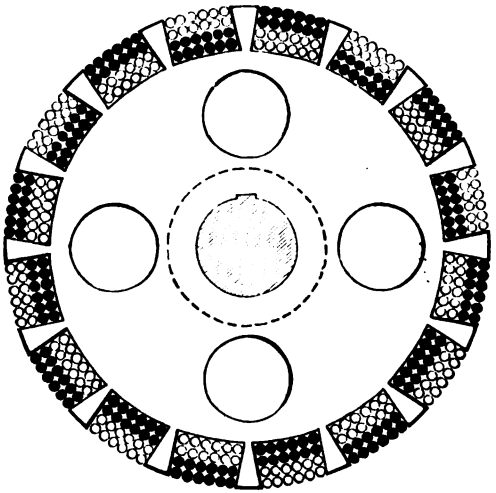


Querschnitt durch die Armatur der Weston-Maschine. 2. Art der Wicklung.

eine Abtheilung der Wicklung in kurzen Schluss geräth und dadurch zerstört wird, dass zwei benachbarte Sectoren zufällig in Verbindung kommen. Zweckmässig ist auch, dass der Stromsammler in Folge der günstigen Befestigung leicht entfernt und durch einen neuen ersetzt werden kann. Die

Digitized by Google

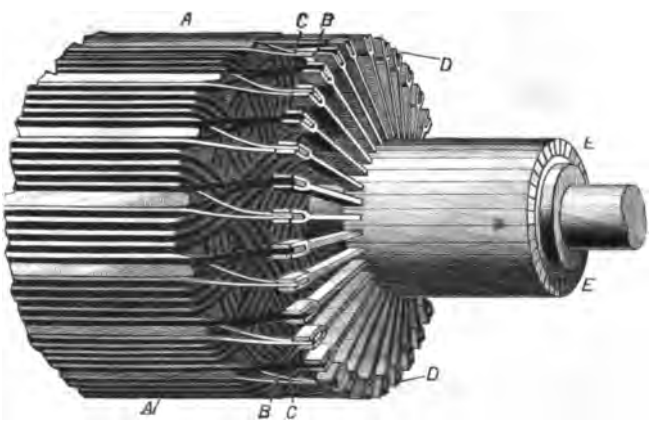
Fig. 149.



Querschnitt durch den Inductor der Weston-Maschine. 3. Art der Wicklung.

beiden diametral gegenüberliegenden Bürsten bestehen aus 10 bis 12 elastischen Kupferplatten, welche durch Schlitze

Fig. 150.



Collector der Weston-Maschine.

je in drei Zungen getheilt sind. Diese haben eine solche Lage zu dem Collector, dass alle Kanten des ganzen

Digitized by Google

Bündels auf die unter ihnen drehenden Theile des Stromsammlers drücken.

Die Bürstenhalter sind, wie aus Fig. 140 zu ersehen ist, auf einer drehbaren Scheibe befestigt, so dass man mit der Hand die Stärke des Stromes und des magnetischen Feldes reguliren kann, indem man die Bürsten in Stellungen von grösserer oder geringerer Wirksamkeit bringt.

Nach dem Electrician[1]) kann die grosse Maschine zwanzig Lampen bei 900 Touren betreiben; sie absorbirt dabei 14 Pferdestärken und gibt einen Strom von 18 Ampère. Die Elektromagnete sind nicht in die Hauptleitung eingeschaltet, sondern wie bei der *Brush*-Maschine (S. 158) in eine Nebenleitung. Sie absorbiren gewöhnlich 3—5 % des ganzen Stromes. Ueber das ausgezeichnete Beleuchtungssystem von *Weston* werden wir später sprechen und zeigen in Figur 151 (s. f. S.) noch eine sehr zweckmässige Aufstellung der Maschine, welche das so lästige Nachspannen des Riemens durch Montirung auf einem Schlitten, der durch eine drehbare Schraubenspindel geführt wird, erleichtert.

60. Die **Maxim'sche Maschine** hat auf der elektrischen Ausstellung in Paris sehr viel Aufsehen gemacht wegen ihrer Eigenthümlichkeit, den von ihr gelieferten Strom automatisch durch einen Regulator, welchen wir in der XIII. Abtheilung näher besprechen werden, zu reguliren.

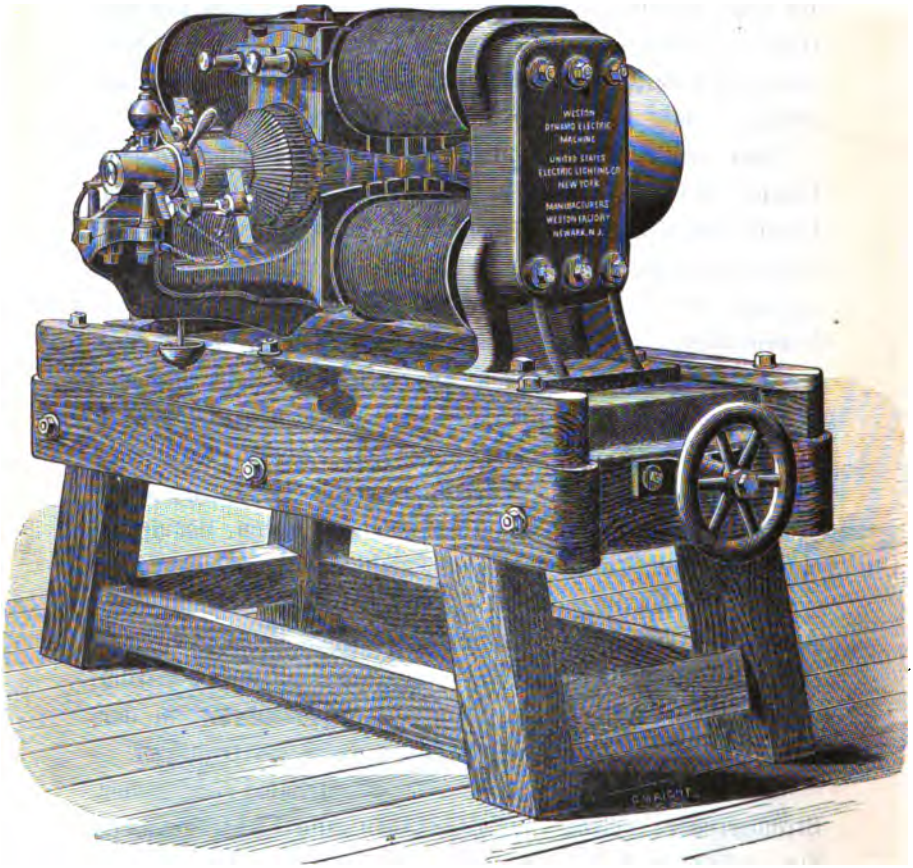
Die *Maxim*'sche Maschine ist ein dynamo-elektrischer Stromerreger, welcher nur dazu dient, die Elektromagnete der grösseren Maschinen desselben Systems, welche zur Erzeugung des elektrischen Lichtes dienen, zu erregen. Dieselbe ist in Verbindung mit dem Regulator durch die Fig. 152 dargestellt; hiernach besitzt sie äusserlich betrachtet eine täuschende Aehnlichkeit mit dem Stromerreger *v. Hefner-Alteneck's*, sowohl nach der Lage der Elektromagnete und

[1]) Electrician, I, p. 236 f.

Digitized by Google

Anordnung des magnetischen Feldes, als auch nach der Gestalt des Inductors.[1]) Letzterer besitzt aber eine eigen-

Fig. 151.



Die Montirung der Weston-Maschine.

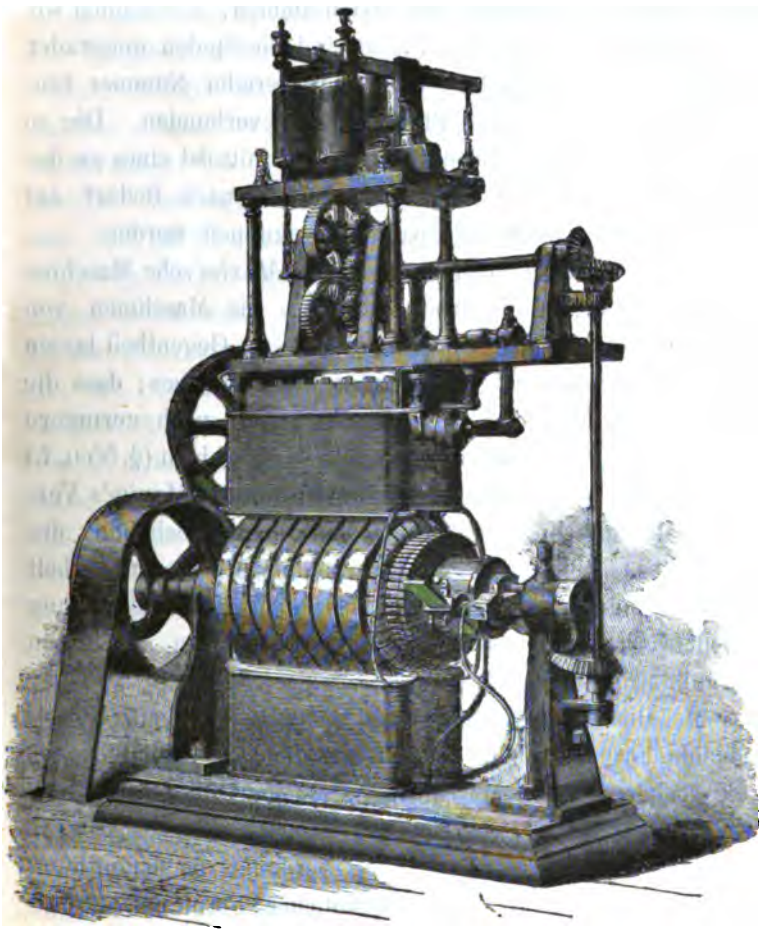
artige Construction, die im Wesentlichen darauf beruht, dass man den Kern eines *Gramme*'schen Ringes in Gestalt einer eisernen Röhre anfertigt, deren Länge den Durchmesser

1) Vgl. Fig. 183; man kann sich auch eine grosse in Fig. 134 abgebildete Maschine auf die Seite gestellt denken, um so den Elektromagneten eine verticale Lage zu geben.

Digitized by Google

übertrifft, diese Röhre alsdann in der in §. 43 beschriebenen Weise mit Drahtspulen umwindet, diese einzeln mit einander verbindet und von den Löthstellen aus Drähte zu den Segmenten des Stromsammlers führt. Die Spulen des *Maxim'*-

Fig. 152.



Maxim'sche Maschine nebst Regulator.

schen Inductors weichen jedoch dadurch von den *Gramme'*-schen Spulen ab, dass bei jenen eine jede Spule aus vier

Digitized by Google

Drähten gewickelt ist, so dass, obschon nur 16 Spulen den Kern umgeben, dennoch 64 Drahtenden mit den 64 Segmenten des Stromsammlers passend zu verbinden sind, so dass eine einheitliche, nirgendwo unterbrochene Leitung entsteht.

Bei den Lichtmaschinen findet sich zu beiden Seiten der Achse der Maschine ein Stromsammler. Bezeichnen wir die Spulen mit 1, 2, 3 . . . ., so sind die Spulen ungerader Nummer mit dem ersten, diejenigen gerader Nummer hingegen mit dem zweiten Stromsammler verbunden. Die so gewonnenen beiden Stromkreise können mittelst eines an der Maschine befestigten Stöpselumschalters nach Bedarf auf Quantität oder auch auf Spannung gekuppelt werden.

Es ist nicht zu ersehen, dass die *Maxim*'sche Maschine bessere Resultate als ihre Vorbilder, die Maschinen von *Gramme* und *Siemens*, ergeben soll — im Gegentheil lassen die Erörterungen des §. 10 und andere erkennen, dass die *Maxim*'sche Maschine dem Wirkungsgrade nach geringere Leistungen als die mit ihr verwandten Maschinen (§. 55 u. f.) unter gleichen Verhältnissen aufweisen muss. *Maxim's* Verdienst besteht unserer Ansicht nach in der Schaffung des Regulators, welcher die Stromstärke der zu leistenden Arbeit anpasst und auch mit anderen Maschinen dieser Abtheilung leicht verbunden werden kann. Wir kommen auf diesen Regulator später zurück.

61. Die Edison-Maschine zeigt durch ihre ganz abweichende Form, obgleich sie auf den gleichen Principien wie die vorhergehenden Maschinen beruht, auf den ersten Blick die Originalität ihres Erfinders *Thomas Alva Edison* in Menlo Park bei New-York. Sie verdankt ihr eigenthümliches Aussehen der aussergewöhnlichen Form und Grösse der Elektromagnete. Diese bestehen aus ein bis zwei Meter langen, mit Kupferdraht umwickelten schmiedeeisernen Cylindern, welche mit sehr grossen, den Anker der Maschine fast rings. umgebenden Polschuhen ausgerüstet sind. Die

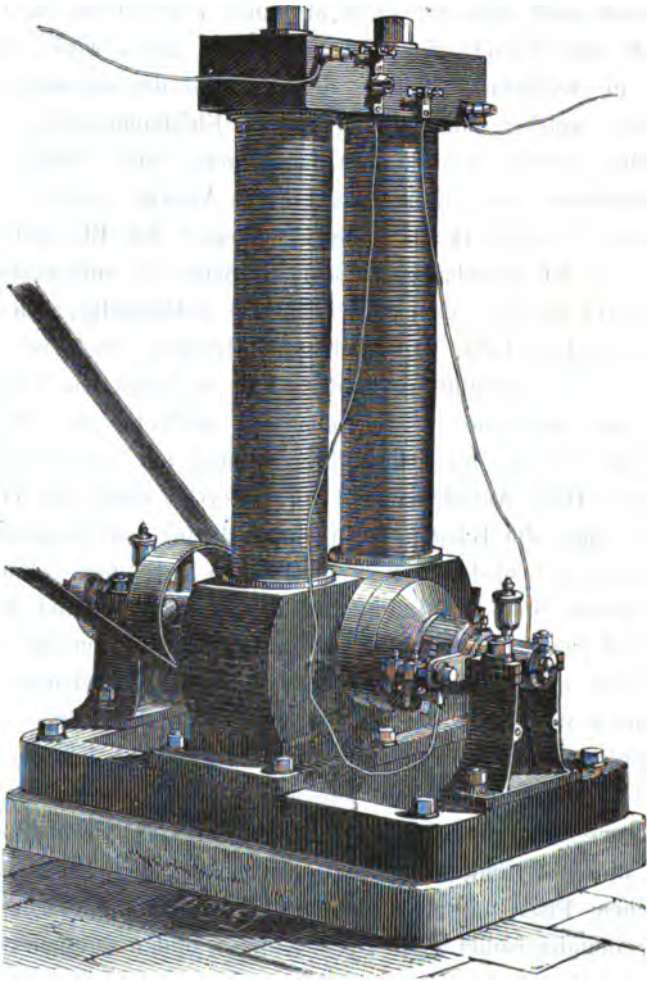
Digitized by Google

Benutzung dieser grossen Eisenmassen bei der Construction der Feldmagnete ist eine der charakteristischen Eigenthümlichkeiten der Edison-Dynamo-Maschine, deren hoher Nutzeffect hauptsächlich diesem Umstande zu verdanken ist. Vielfach sieht man das nicht als einen Vortheil an, da hiedurch das Gewicht der Maschinen sehr gross wird, ohne dass in gleichem Verhältniss die Intensität des magnetischen Feldes, welches mit halb so langen Elektromagneten von gleicher Stärke sein könnte, gesteigert wird. Nach den Erfahrungen von Edison ist diese Ansicht jedoch eine falsche. Verringert man die Eisenmasse der Elektromagnete, so ist innerhalb gewisser Grenzen ein entsprechend stärkerer Strom, also mehr Energie nothwendig, um ein magnetisches Feld von gleicher Intensität zu erzeugen. Dieser Mehraufwand an Energie ist so lange zu leisten, wie die Maschine im Betriebe ist, während die Mehrausgabe für das an sich billige Material nur einmal stattfindet. Diese Ansicht scheint gerechtfertigt durch die Thatsache, dass die Edison-Maschinen in Bezug auf Leistungsfähigkeit mit zu den besten elektrischen Maschinen gehören. Die Form und Anordnung der Elektromagnete und ihrer Pole ist aus Figur 153 zu ersehen. Dieselben bilden zwischen sich ein cylindrisches magnetisches Feld, in welchem ein Inductor rotirt wie bei der *Siemens*'schen Maschine. Die Construction dieses Inductors, der in Fig. 154 in der Ansicht dargestellt ist, ist folgende. Unmittelbar auf der eisernen Rotationsachse sitzt (Fig. 154) ein Holzcylinder. Auf diesen Cylinder sind eine Reihe dünner Scheiben von weichem Eisen aufgeschoben, die alle durch Papierscheiben von einander isolirt sind. Diese ersteren bilden so einen compacten Cylinder, welcher rings von isolirendem Papier umgeben wird. Auf denselben nun werden bei den grossen Maschinen der Länge nach neben einander Kupferbarren gelegt, welche von einander isolirt sind. Diese bilden den Inductor und

Digitized by Google

es handelt sich noch darum, diese Barren passend mit einander zu verbinden. Hierzu sind an jedem Ende des Eisencylinders gerade so viel dünne Kupferscheiben aufgesetzt,

Fig. 153.



Die Edison-Maschine „E".

als der Inductor Kupferbarren hat; diese Scheiben sind von einander isolirt und jede hat an ihrem Umfange diametral

Digitized by Google

entgegengesetzt zwei Vorsprünge, um das Ende einer Kupferstange aufzunehmen. Da die Scheiben parallel hinter einander auf der Achse aufgesetzt sind, liegen die Verbindungsstellen mit den neben einander liegenden Kupferbarren in einer Schraubenlinie, welche auch in der Figur durch die Enden der Kupferbarren gekennzeichnet ist. Wir erhalten so eine einzige Leitung, gebildet aus den Kupferbarren und den Kupferscheiben, welche den cylindrischen Anker

Figur 154.

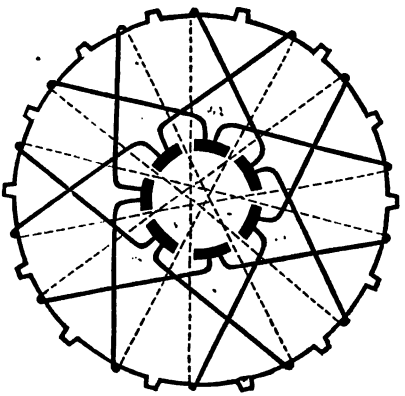
Inductor der Edison-Dynamo-Maschine.

longitudinal umgibt. Die einzelnen Blechscheiben stehen mit einem Stromabgeber in Verbindung, welcher sich constructiv von dem der *Gramme*'schen Maschinen nicht wesentlich unterscheidet. Als besonderer Vorzug an dem Stromabgeber von *Edison* gilt das Isolationsmaterial, welches eine solche Beschaffenheit besitzt, dass es sich in demselben Maasse wie das Kupfer abnutzt und dass in Folge dessen niemals Querrillen entstehen. Diesem Umstande ist nicht zum wenigsten die geringe Funkenbildung am Stromabgeber der *Edison*-Maschinen zuzuschreiben. Die Maschine wirkt, wie jetzt leicht einzusehen ist, gerade so wie die *Siemens*-Armatur, von der sie sich principiell nur durch die einfachere Wicklung unterscheidet. Die kleineren Maschinen erhalten statt der Kupferbarren gut isolirte Kupferdrähte als Wicklung. Das Schema derselben zeigt Figur 155, welche der Patentzeichnung von *Edison* entnommen ist. Die Wicklung besteht aus sieben Abtheilungen und sieben Strahlstücken.

Digitized by Google

Diese Zahl ist bei allen *Edison*-Maschinen ungerade, bei den neuen grossen Maschinen sind es 49 Abtheilungen. Eine Folge hiervon ist, dass, wenn die Bürsten diametral

Fig. 155.



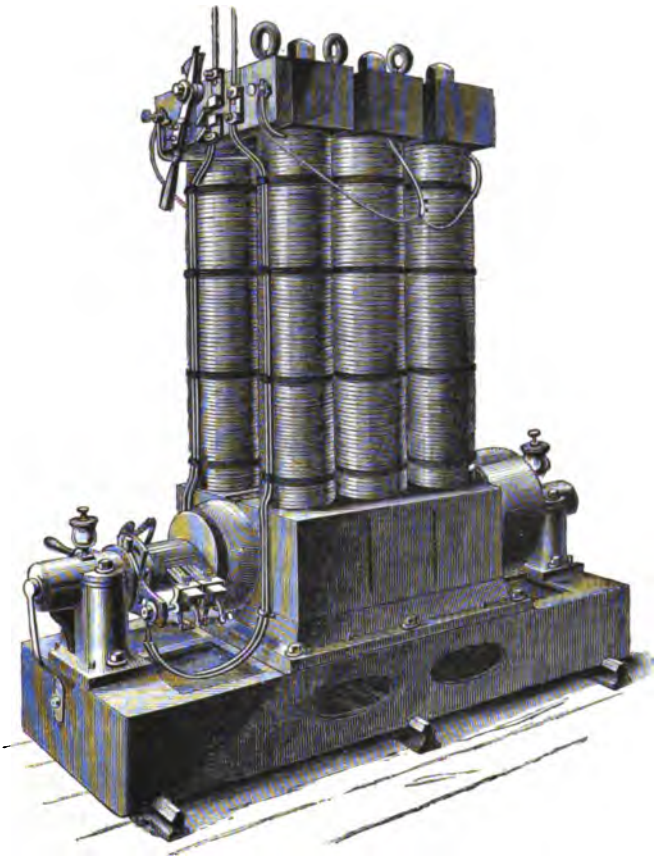
Edison-Wicklung.

am Stromsammler angelegt werden, dieselben nicht zu gleicher Zeit von einer Abtheilung des Collectors zur andern übergehen. Während die eine Bürste das eine Strahlstück in der Mitte berührt, wird die andere Bürste zwei neben einander liegende Stücke verbinden und die dazwischen eingeschaltete Abtheilung in kurzen Schluss bringen. Besondere Sorgfalt ist auf die Construction der Bürsten verwendet. Diese bestehen aus mit einander abwechselnden Schichten von Kupferdrähten und Blechen, wodurch eine fast sammetartige Weichheit der Contactflächen erreicht wird. Die an ihrem vorderen Ende abgeschrägten Bürsten liegen nicht tangential, sondern mit ihrer schrägen Fläche am Stromsammler an, eine Anordnung, welche ein sehr genaues Einstellen der Bürsten ermöglicht, und welche wesentlich zur Verminderung der Funkenbildung beiträgt. Die letztere ist an den *Edison*-Maschinen, welche sich hierin sehr vortheilhaft von allen übrigen Dynamo-Maschinen unterscheiden, kaum noch vorhanden.

Digitized by Google

Das magnetische Feld der in Figur 156 abgebildeten sogenannten „K"-Maschine wird durch sechs Elektromagnete erzeugt, welche parallel neben einander geschaltet sind. Die Bürsten des Stromsammlers sind durch einen in der Figur

Fig. 156.



Die Edison-Maschine „K".

sichtbaren Griff von Hand verschiebbar, um ihnen die richtige Stellung zu ertheilen. Die Construction derselben ist aus der Figur leicht verständlich, wird aber bei den neueren Maschinen immer noch verbessert. Es sind ihrer gewöhnlich

Digitized by Google

zwei vorhanden, bei der ganz grossen Maschine sogar sechs kleinere auf jeder Seite, die durch regulirbare Spiralfedern an den Stromsammler angepresst werden. An der vorderen Fläche der Polschuhe der Magnete ist ein hölzernes Brett befestigt mit Ausschalter und Klemmschrauben, um den Stromkreis zu öffnen und zu schliessen und um die Elektromagnete je nach Bedürfniss in die Hauptleitung oder eine Nebenleitung einschalten zu können. Die beiden äusseren Klemmschrauben führen zu den Elektromagneten, die inneren zu den Bürsten. Bemerkenswerth ist auch die einfache, sichere und zweckmässige Aufstellung der Maschine auf drei oben keilförmig zugespitzten Schienen. Die Maschine „K" wiegt 3,3 Tonnen, macht 900 Touren in der Minute, absorbirt 32 Pferdestärken und liefert dann einen elektrischen Strom von 110 Volt Spannung und 183 Ampère Intensität, der im Stande ist, 250 grössere *Edison*-Glüh-Lampen zu speisen.

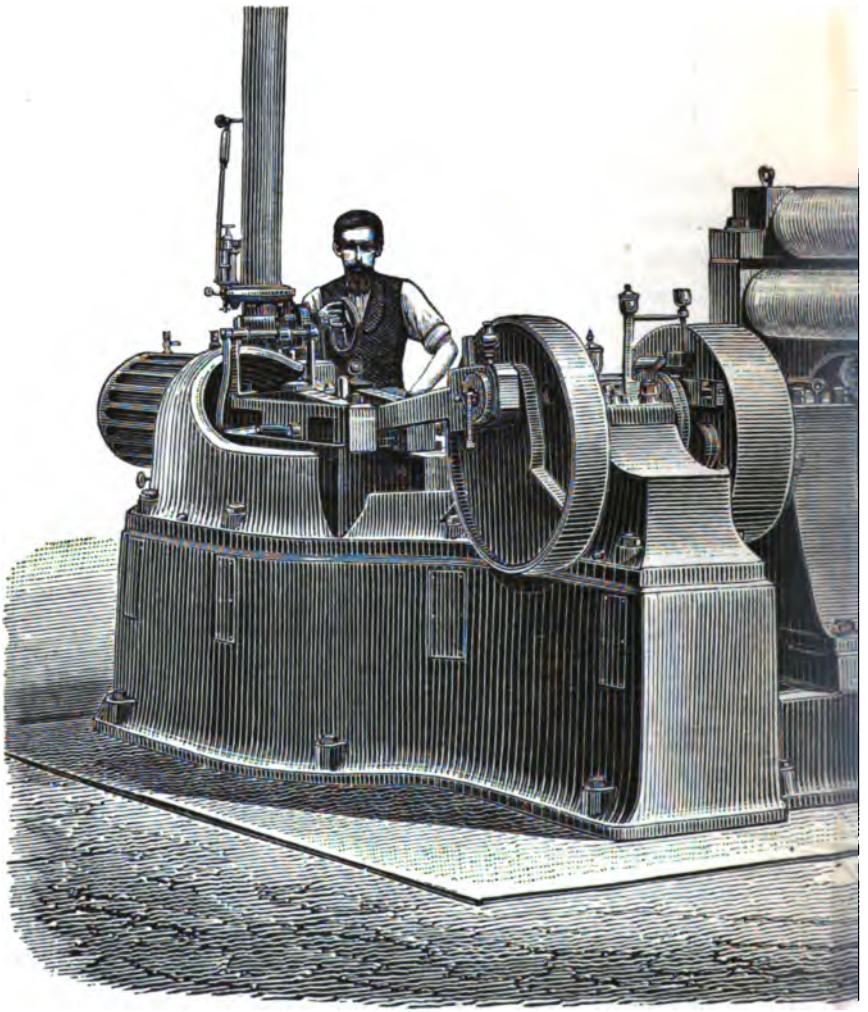
Fig. 157 zeigt eine grosse *Edison*-Maschine, zugleich mit der sie treibenden Dampfmaschine. Diese Dynamo-Maschine hat ein grosses historisches Interesse. Sie ist der erste Schritt zum Uebergang von den kleinen Maschinen zu den grossen, welche jetzt immer mehr als rationeller anerkannt werden und mit welchen allein die Verwerthung der Elektricität im Grossen möglich ist.

Das magnetische Feld dieser Maschine wird durch acht lange Elektromagnete erzeugt, welche durch einen Zweigstrom erregt werden. Die Dimensionen dieser Maschine, wie sie jetzt construirt wird, sind folgende: Der Widerstand des Inductors beträgt 0,0037 Ohm, der der Elektromagnete 6,7 Ohm. Der Inductor enthält 106 Kupferbarren, sein Kern besteht aus 2200 dünnen Eisenblechscheiben; zum Betriebe der Maschine, welche 350 Umdrehungen in der Minute macht, sind 125 Pferdekräfte erforderlich. Der Strom hat 110 Volt Spannung und kann 1200 *Edison*-

Digitized by Google

Digitized by Google

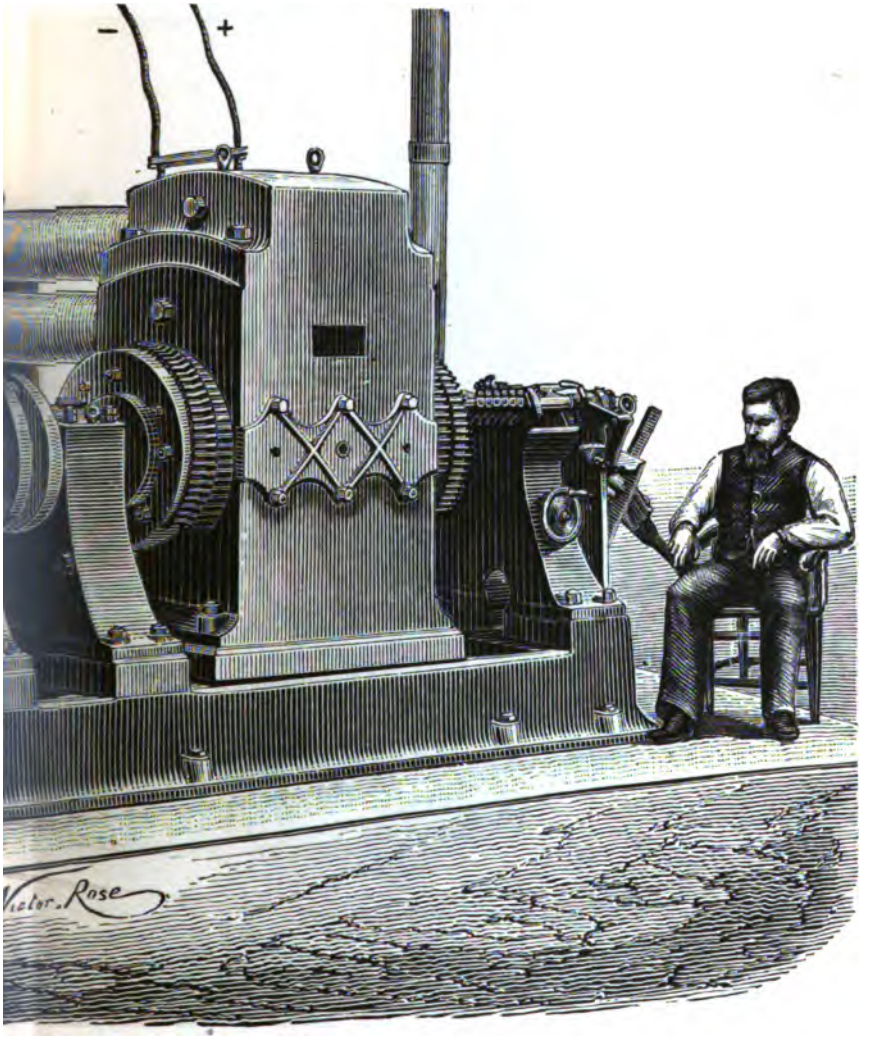
Fig.



Die grosse Edis

Digitized by Google

157.



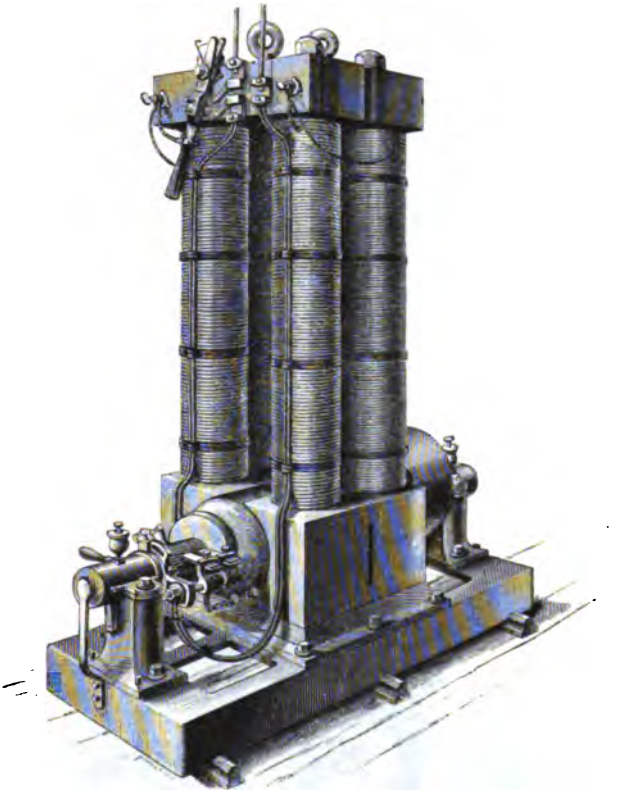
n-Maschine „C“.

Digitized by Google

Digitized by Google

Glühlampen zu 16 Normalkerzen speisen. Das Gewicht der Maschine beträgt 30 Tonnen. Maschinen dieser Art werden bei der grossartig angelegten Häuserbeleuchtung in New-York verwendet.

Fig. 158.



Die Edison-Maschine „L".

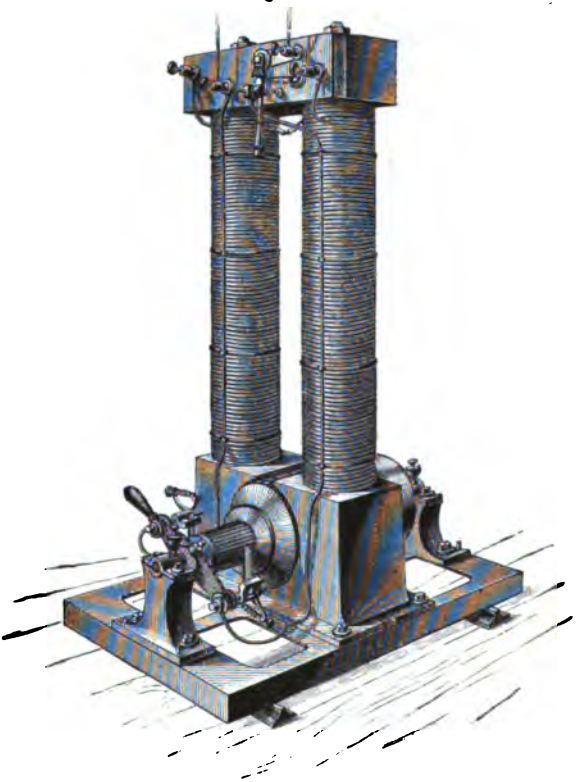
Die verschiedenen Grössen der Maschinen, welche gegenwärtig von *Edison* gebaut werden, sind in der folgenden Tabelle durch ihre wichtigsten Maasse charakterisirt. (Vergleiche auch ihre Abbildungen Fig. 153, 156, 157, 158 und 159.)

Digitized by Google

Modell	E	Z	L	K	C
Gewicht in Kilogramm	290	1230	2500	3300	30000
Kraft in Pferdestärken	2,5	8	18	32	125
Tourenzahl in der Minute	2200	1200	900	900	350
Anzahl der Lampen à 16 Kerzen	17	60	250	250	1200
Spannung des Stromes in Volt . .	110	110	110	110	110
Zahl der Elektromagnete	2	2	6	6	12

Diese Zahlen zeigen, wie vortheilhaft es ist, grosse

Fig. 159.



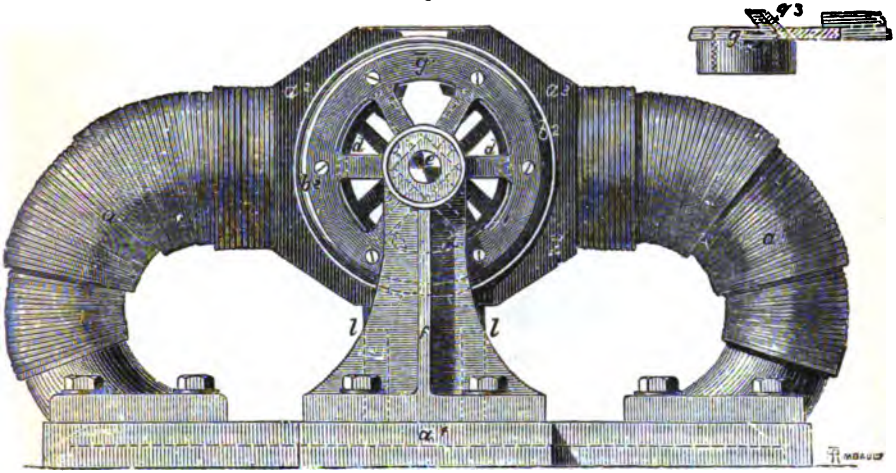
Die Edison-Maschine „Z".

Maschinen, welche viel Kraft verbrauchen, statt mehrere kleine zu verwenden.

Digitized by Google

62. Die Maschine von Jürgensen, die in Fig. 160 abgebildete eigenthümliche Form einer dynamo-elektrischen Maschine, ist von Professor *C. P. Jürgensen* und Dr. *P. L. V. Lorenz* in Kopenhagen erfunden. Die Hauptmerkwürdigkeit derselben besteht darin, dass die Intensität des magnetischen Feldes, in welchem der *Gramme*'sche cylinderförmige In-

Fig. 160.



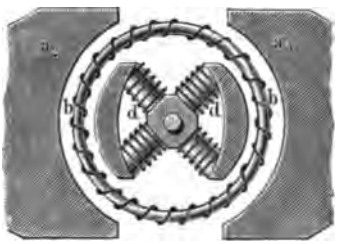
Die Maschine von Jürgensen.

ductorring rotirt, durch Anbringung eines festen Elektromagnets innerhalb des rotirenden Inductors erhöht wird, um auch den innern Theil der Drahtwindungen auf dem Inductorring auszunützen. Wie bei der Maschine von *Edison* wird das magnetische Feld durch einen einzigen Elektromagnet erzeugt, dessen Schenkel aber nicht wie dort gerade, sondern stark gekrümmt sind, was vortheilhaft für die Ausbildung eines möglichst intensiven magnetischen Feldes zwischen den Polen ist. Die Elektromagnetschenkel sind durch eine gusseiserne Fundamentplatte mit einander verbunden. Die Wicklung derselben nimmt gegen die Pole hin zu und wegen der gekrümmten Gestalt der Kerne ist sie von keilförmigen Zwischenräumen durchbrochen, welche

Digitized by Google

zugleich zur Ventilation dienen. Zur grösseren Festigkeit sind die Pole oben durch eine unmagnetische Platte verbunden. Der innere Elektromagnet ist in Fig. 161 besonders abgebildet und besteht aus zwei kreuzweis angeordneten Schenkeln d, die mit Draht so umwickelt sind, dass die gleichnamigen Pole derselben neben einander zu liegen kommen. Diese sind durch Polschuhe mit einander verbunden. Die gleichnamigen Pole des äussern (a_2 a_3) und innern (d)

Fig. 161.



Der Inductor der Maschine von Jürgensen. (Schematisch.)

Elektromagnets sind einander zugekehrt. Wie aus Fig. 161 zu erkennen ist, entsteht dadurch ein sehr intensives magnetisches Feld, in welchem nun der Inductorring rotirt. Der Kern desselben ist durch eine Anzahl von einander isolirter flacher Eisenringe gebildet, die durch Bolzen zusammengehalten werden. Dieser Kern wird wie der *Gramme*sche Ring bewickelt und mit einem Stromsammler versehen, von welchem der Strom durch Bürsten in die äussere Leitung abgeführt wird.

Hervorgehoben wird an dieser Maschine noch die Art der Ventilation, welche dadurch bewerkstelligt wird, dass an der einen Seite des Inductorraumes die durchbrochene Scheibe *g'* fest mit dem Elektromagnet verbunden wird, während auf der anderen Seite eine ebensolche Scheibe mit dem Inductor verbunden ist und bei der Rotation mit demselben umläuft. Bei der raschen relativen Bewegung dieser

Digitized by Google

beiden Scheiben gegeneinander entsteht ein starker Luftzug durch den cylindrischen Hohlraum. Die Construction dieser Maschine muss vom theoretischen Gesichtspunkte aus als sehr vollkommen bezeichnet werden. Doch bietet der Bau derselben technische Schwierigkeiten, sobald man versucht, grosse Modelle auszuführen.

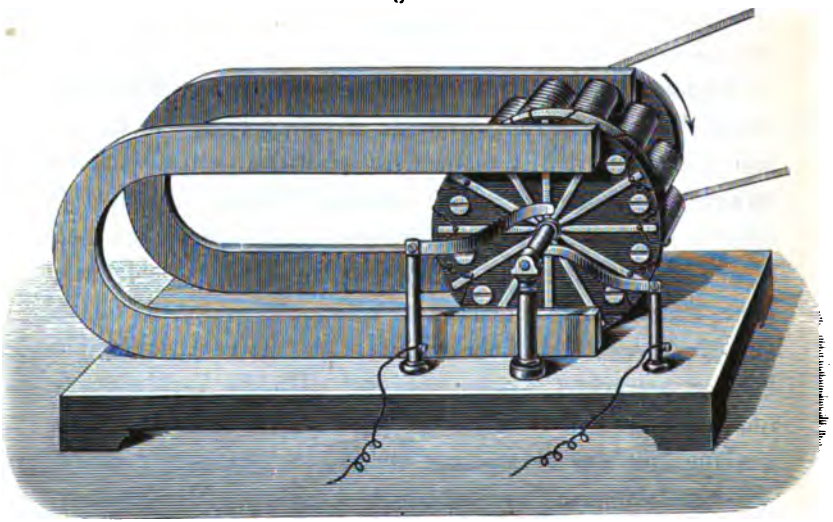
In naher Beziehung zu den bisher besprochenen Maschinen stehen diejenigen von *Niaudet*, *Wallace-Farmer*, *Lontin* und *Bürgin*, welche zwar keine ringförmige, aus Eisen construirte Spule oder etwa eine Trommel besitzen, jedoch dieselbe Verbindungsweise der einzelnen Spuldrähte wie bei dem *Gramme*'schen Ringe sowie das Princip der Stromableitung ohne eigentlichen Commutator aufweisen. Können die in den §§. 42—62 beschriebenen Maschinen als zu einer Familie gehörig betrachtet werden, da bei allen die Verbindungslinien der Schleifstellen der Bürsten senkrecht zu der Verbindungslinie der Magnetpole stehen, so müssen wir die in den nun folgenden Paragraphen beschriebenen Maschinen zu einer zweiten Familie gruppiren, da bei ihnen die Schleifstellen der Bürsten in der Pollinie selbst liegen. Diese Anordnung fand sich zuerst bei der

63. Magnet-elektrischen Maschine von Niaudet. Im Jahre 1872 hat *Alfred Niaudet* in Paris nach dem *Clarke*'schen Princip eine sehr wirksame magnet-elektrische Maschine construirt, welche als eine vervielfachte *Clarke*'sche Maschine angesehen werden kann und wie die *Gramme*'sche Maschine den grossen Vorzug besitzt, dass sie gleichgerichtete Ströme in die Leitung sendet, ohne eines Commutators zu bedürfen. Wie die Fig. 162 zeigt, sind 12 mit Draht bewickelte eiserne Kerne oder Inductorrollen zwischen zwei eisernen Platten befestigt und bilden in dieser Form eine Art Trommel, deren Achse in eine rasche Rotation versetzt werden kann. Bei

Digitized by Google

dieser Bewegung laufen die Enden der Drahtspulen so nahe als möglich an den vier Polen zweier feststehenden Stahlmagnete vorbei, wodurch bei jeder Annäherung und Entfernung einer Spule in Bezug auf einen der festen Magnetpole wegen der Doppelwirkung der letzteren auf die beiden Enden

Fig. 162.



Die magnet-elektrische Maschine von Niaudet.

dieser Spule sehr kräftige Inductionsströme in dem Drahte der letzteren erzeugt werden. Eine sehr wichtige Rolle spielt dabei auch die wechselnde Magnetisirung der Eisenkerne in den Drahtspulen.

Die einzelnen Drahtspulen stehen derart mit einander in Verbindung, dass der Anfangspunct der Bewicklung der einen Spule mit dem Endpuncte des Drahtes der vorhergehenden Spule zusammengelöthet ist, sämmtliche Spulen also eine einzige, an keiner Stelle unterbrochene Drahtspirale darstellen, die weder einen Anfangspunct noch einen Endpunct hat. In dieser Beziehung gleicht die ganze Trommel einer galvanischen Batterie, in welcher die einzel-

Digitized by Google

nen Elemente auf Spannung gekuppelt, d. h. hintereinander verbunden sind. Es versteht sich von selbst, dass sowohl oben und unten wie seitlich die gegenüberstehenden Pole der Stahlmagnete entgegengesetzt polarisch sind.

Wird die Trommel in der Richtung des Pfeiles gedreht und nehmen wir an, dass sich auf der Vorderseite der Maschine unten ein Nord-, oben ein Südpol des Magnets befindet, so wird in jeder Spule links, welche sich vom Nordpole entfernt, ein Inductionsstrom von bestimmter Richtung entstehen. Der Strom behält diese Richtung bei, so lange die Spule sich vom Nordpole links herum zum Südpole bewegt, da ja die Annäherung an den Südpol dieselbe inducirende Wirkung hervorbringt wie die Entfernung vom Nordpole. Passirt die Spule nach einer halben Umdrehung oben den Südpol, so entfernt sie sich bei weiterer Drehung der Trommel vom Südpole und nähert sich rechts herumgehend dem untern Nordpole; es wird hierdurch ein Strom erzeugt, dessen Richtung dem vorigen Strome entgegengesetzt ist.

Wir gewinnen hiernach ein klares Bild von dem, was in der Maschine während der Rotation der Trommel vorgeht, wenn man einen bestimmten Moment der Bewegung ins Auge fasst. In sämmtlichen Spulen, welche zur Linken der durch die Magnetpole gezogenen verticalen Linie liegen, entsteht gleichzeitig ein Strom von einer und derselben Richtung; in sämmtlichen rechts von dieser Pollinie liegenden Spulen entsteht dagegen gleichzeitig ein Strom von entgegengesetzter Richtung; der Summenstrom der einen Gruppe von Spulen ist genau eben so stark, als der entgegengesetzte Summenstrom der anderen Gruppe; beide Ströme heben sich daher auf und die Trommel ist stromlos, ganz so wie es mit den Strömen zweier galvanischer Batterieen geschieht, von denen jede aus sechs Elementen besteht und welche mit den gleichnamigen Polen verbunden

Digitized by Google

sind. Will man jedoch die beiden entgegengesetzten Ströme der zwei links und rechts von der verticalen Pollinie liegenden Drahtspulen sammeln und aus der Maschine ableiten, so braucht man nur zwei Metallfedern über die Löthstellen der Spuldrähte derart schleifen zu lassen, dass die Löthstellen aller Spuldrähte gerade in dem Augenblicke mit ihnen in Verbindung treten, wo sie die Linie der Magnetpole passiren. Um dieses zu erreichen, gehen von den Löthstellen isolirte kupferne Schienen radial bis zur Achse hinab, während die zwei Schleiffedern so gestellt werden, dass sie jede dieser Schienen nur dann treffen, wenn dieselben durch die verticale Pollinie hindurchgehen. Werden dann die beiden die Federn tragenden Klemmen durch einen Schliessungsdraht, die Leitung, mit einander verbunden, so circulirt bei fortgesetzter Rotation der Trommel ein continuirlicher Strom in einer und derselben Richtung durch die Leitung.

Comparative Versuche zwischen der *Gramme*'schen und *Niaudet*'schen Maschine haben gezeigt — sagt *Fontaine* —, dass bei gleicher Stärke der Magnete und der gleichen Menge Kupferdraht in den Spulen die *Gramme*'schen Maschinen einen bedeutend kräftigern Strom bei geringerem Verbrauch an Betriebskraft liefern.

Als Verbindung zweier *Niaudet*'schen Maschinen kann

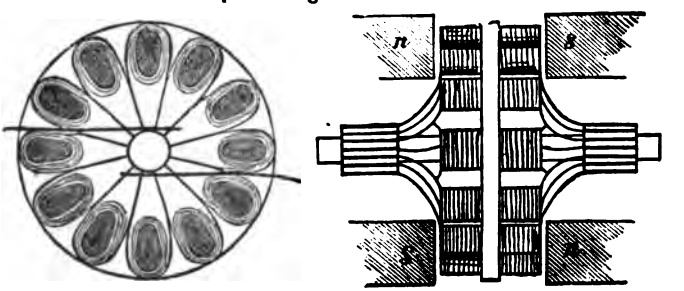
64. Die Licht-Maschine von Wallace-Farmer betrachtet werden. Diese wurde zuerst (1876) von dem Ingenieur *G. Farmer* in Boston, seitdem aber von dem Mechaniker *M. Wallace* in Ansonia gebaut und gelangte in America bald zu hohem Rufe, als der berühmte *Edison* bei seinen ersten Projecten auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung sich dieser Maschine bediente und an ihr rühmte, dass sie unversiegliche Ströme von Elektricität erzeuge; nach neueren Berichten verdient die Maschine dieses Lob keineswegs und ist anderen americanischen Maschinen, wie denjenigen von *Weston* und *Brush*, entschieden unterlegen. Ein Blick auf

Digitized by Google

die Abbildung derselben (Fig. 164 s. f. S.) zeigt ferner sofort, dass wir es hier im Wesentlichen mit Constructions-Principien zu thun haben, die uns schon aus den Maschinen *Gramme* und *Schuckert* bekannt geworden sind.

Die Maschine hat zwei halbflache hufeisenförmige Elektromagnete, deren entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen. In dem von diesen Polen gebildeten magnetischen Felde rotirt ein Doppelkranz von 50 flachen Drahtspulen, welche der Reihe nach einzeln an den Magnetpolen in sehr geringer Entfernung vorbeilaufen. Jede dieser zwei eisernen, auf der Rotationsachse befestigten Scheiben trägt sonach 25 Spulen; jede Spule besteht aus 4 einzelnen Drahtrollen, deren Drähte der Reihe nach hintereinander verbunden sind, während zugleich von den Löthstellen je zweier aufeinanderfolgender Spulen Drähte rechtwinkelig umbiegend zu einem auf der Achse sitzenden Collector führen, wie dieses bei der Maschine *Gramme* und *Siemens* näher beschrieben ist. Jede Spule ist durchbrochen, um durch die entstehende Luftcirculation eine genügende Abkühlung der Maschine zu bewirken.

Fig. 163.

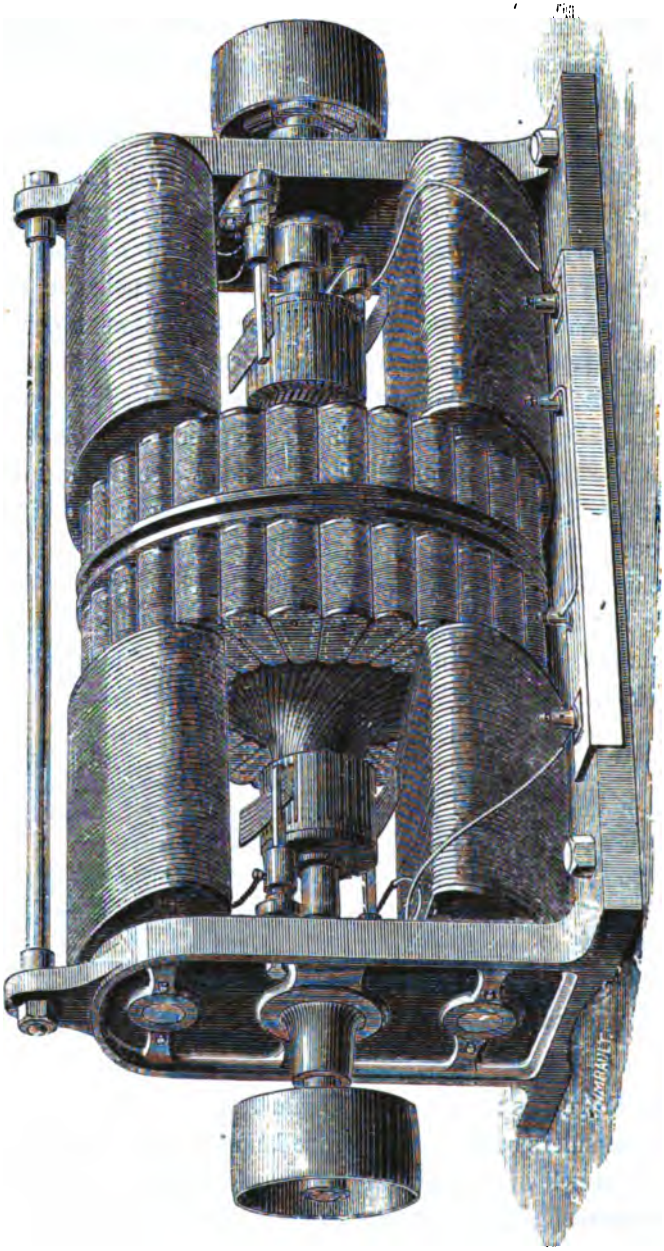


Wallace-Farmer's Inductor.

In Folge des nach *Gramme*'scher Anordnung construirten Stromsammlers bedarf die Maschine keines besondern Commutators; dieselbe liefert für jeden Spulenkranz direct ein besonderes System gleichgerichteter Ströme, die man entweder ver-

Digitized by Google

Fig. 164.



Die dynamo-elektrische Maschine von Wallace-Farmer.

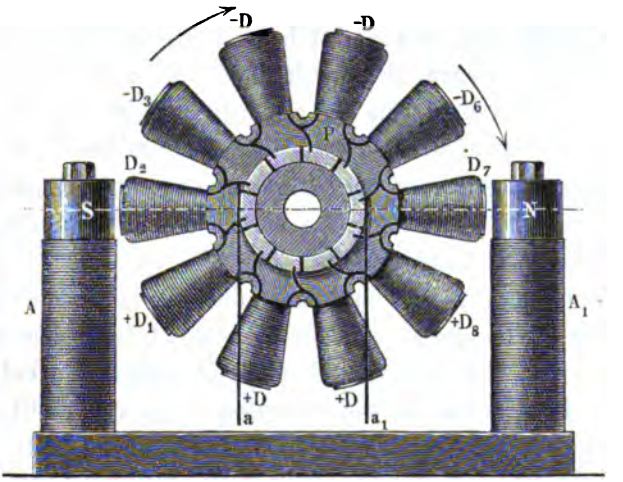
Digitized by Google

einigen oder einzeln verwenden kann. Die Ströme werden vom Stromsammler nach dem dynamo-elektrischen Princip zuerst zu den Elektromagneten geführt und gelangen dann erst in die Leitung. Die Maschine hat heute nur noch historisches Interesse. Sie ist eine der ersten dynamo-elektrischen Maschinen, welche construirt worden sind und sie hat besonders in America bei der ersten Entwicklung der elektrischen Beleuchtung grosse Dienste geleistet.

In gleicher Weise wie bei der *Niaudet*'schen Machine erfolgt die Elektricitäts-Erzeugung bei der

65. Dynamo-elektrischen Maschine von Lontin. Die Fig. 165 zeigt die Haupttheile einer solchen Maschine.[1]) $A\,A_1$ sind die beiden Schenkel eines kräftigen Elektromagnets, an dessen Polen die zehn Enden der sternartig um die Achse

Fig. 165.



Lontin's dynamo-elektrische Maschine.

gestellten Inductorrollen D sehr nahe vorbei rotiren. Das Inductionsrad besteht aus der cylindrischen Welle P von

1) Patentirt im Jahre 1874.

Digitized by Google

weichem Eisen, auf welchem die eisernen Zapfen D in der Richtung der Radien der Welle befestigt sind. Das in der Figur abgebildete Rad hat zehn solcher Zapfen; die Zahl derselben lässt sich jedoch je nach dem Bedürfnisse vergrössern oder verkleinern. Jeder Zapfen ist auf eine und dieselbe Weise mit Kupferdraht umwickelt, und zwar so, dass das Drahtende eines jeden vorangehenden Zapfens mit dem Anfange des Drahtes des nächstfolgenden verbunden ist und daher die Umwindungen aller Zapfen, wie im *Gramme*schen Ringe, einen einzigen in sich geschlossenen Draht ohne Anfang und Ende bilden.

Die Figur zeigt nur ein Inductorrad, nichts hindert aber, auf eine und dieselbe Achse, je nach Bedarf, mehrere aufzusetzen. Von den Verbindungsstellen der Drähte je zweier aufeinander folgender Inductorrollen führen kurze starke Drähte zu kupfernen Contactstücken, welche isolirt von einander und von der Achse auf dieser befestigt sind und die dazu dienen, die durch die Rotation des Rades erzeugten Inductionsströme zu sammeln und nach aussen in die Leitung abzuführen. Letzteres geschieht durch die feststehenden Schleiffedern oder Bürsten $a\,a_1$, deren Enden auf den genannten Contactstücken aufliegen und die Ströme in der Pollinie $S\,N$ aufnehmen.

Wenn bei der Drehung des Inductorrades in der Richtung des Pfeiles irgend eine Rolle, z. B. D_1, sich dem Südpole S des Elektromagnetschenkels A nähert, so entsteht in dem Drahte von D_1 ein Inductionsstrom von bestimmter Richtung (§. 8); dasselbe geschieht mit allen nachfolgenden Rollen, welche sich unterhalb der Pollinie $S\,N$ befinden, nur mit dem Unterschiede, dass die Ströme um so schwächer sind, je weiter die einzelnen Rollen von dem inducirenden Pole S entfernt sind. Entfernt sich dabei eine Rolle, z. B. D_8, von dem entgegengesetzten Magnetpole, dem Nordpole N, so entsteht in dem Drahte dieser Rolle ein

Digitized by Google

Strom von derselben Richtung wie vorhin, und dasselbe geschieht wieder mit allen vorangehenden Rollen, welche unterhalb der genannten Pollinie liegen. Das Entgegengesetzte geschieht in Bezug auf die Richtung der inducirten Ströme bei den Rollen, welche oberhalb der Linie *S N* liegen, in welcher daher bei der Rotation des Rades Ströme erzeugt werden, welche den vorhin genannten Strömen entgegengesetzt sind. Da nun sämmtliche Drahtrollen unter einander verbunden sind und nur einen einzigen, in sich geschlossenen Draht bilden, so müssen die beiden Stromsysteme, da sie offenbar aus Strömen von gleicher Stärke und von entgegengesetzter Richtung bestehen, sich aufheben, wenn nicht auf irgend eine Weise für die rechtzeitige Ableitung derselben nach aussen gesorgt wird. In welcher Weise dieses geschehen muss, haben wir bereits bei der Maschine *Gramme* näher auseinandergesetzt, bei welcher trotz der Verschiedenheit in der Anordnung der Inductorrollen doch die Art der Stromerzeugung und der Stromrichtung dieselbe ist wie bei der Maschine *Lontin*. Auch hier entstehen in der Linie *S N* zwei elektrische Doppelpole, von denen der eine die entgegengesetzte Elektricität besitzt als der andere, und die in Fig. 25 an zwei galvanischen, mit gleichnamigen Polen verbundenen Batterien gegebenen Erläuterungen sind auch hier anwendbar. Die beiden Ableitungsstellen für die entstehenden Inductionsströme liegen jedoch in der genannten Pollinie, in welcher daher auch die Schleiffedern a, a_1 den Sammelring P berühren müssen.

Es braucht wohl kaum angeführt zu werden, dass je nach der Art und Weise, wie die eisernen Kerne der Elektromagnete und der Inductorrollen mit Draht umwunden werden, die Maschine für galvanoplastische Arbeiten oder für Lichterzeugung geeignet ist. Kurze und dicke Drähte oder flache kupferne Bänder geben Ströme von grosser Quantität, lange und dünne Drähte erzeugen Ströme von grosser Spannung.

Digitized by Google

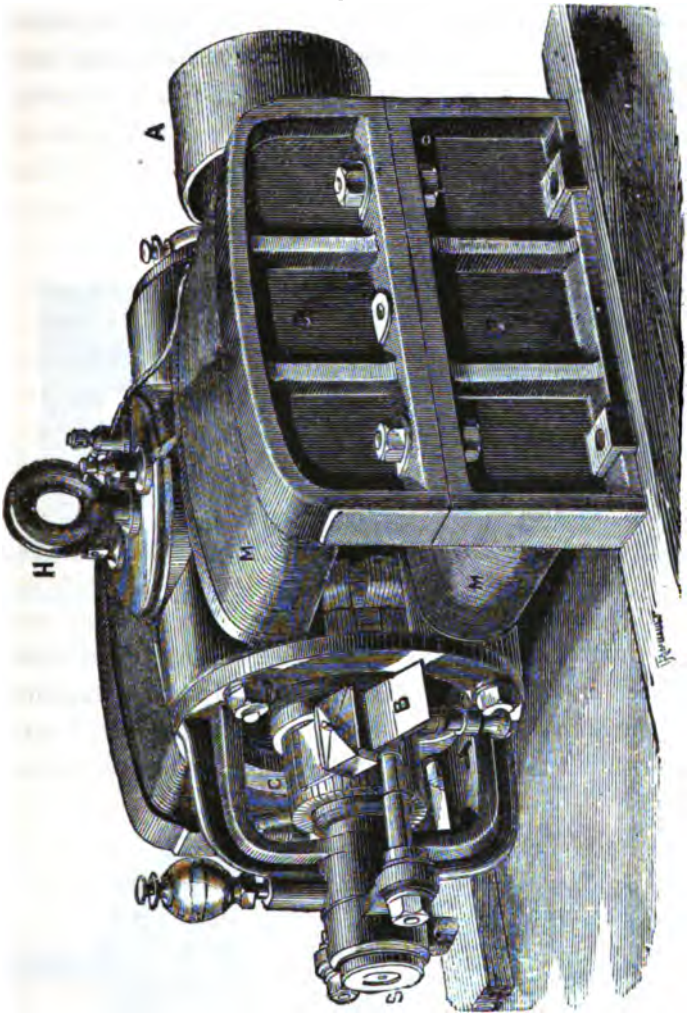
Haben die einzelnen aufeinander folgenden Inductorrollen Drahtwindungen von gleicher Richtung, so liefert die Maschine continuirliche Ströme von einer und derselben Richtung, wie es für galvanoplastische Arbeiten erforderlich ist; wenn dagegen diese Drahtwindungen abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben, so liefert die Maschine *Lontin* wie die *Alliance*-Maschine Ströme von alternirend entgegengesetzter Richtung.

Denken wir uns die *Lontin*'sche Maschine dahin abgeändert, dass das in der Fig. 165 abgebildete Rad 16 Zapfen trägt und diese nicht in einer Ebene, sondern in 4 Ebenen so angeordnet sind, dass die Zapfen derselben Ebene ein Kreuz bilden und ein jedes der so gebildeten 4 Kreuze um $22^1/_2{}^0$ gegen das vorhergehende verstellt ist, so ergibt sich das alte Modell der

66. Dynamo-elektrischen Maschine von Bürgin. *Bürgin* gruppirte nämlich zur Zeit auf einer Achse acht Eisenstäbe so, dass je zwei derselben, in derselben Ebene liegend, ein Kreuz bildeten; es waren somit vier Kreuze, von denen jedes um $22^1/_2{}^0$ gegen das vorhergehende verstellt war, so dass die Enden der Stäbe die Gänge einer vierfachen Schraube bildeten. Die Enden der einzelnen auf den Eisenstäben aufgezogenen Drahtspiralen wurden alle gegen die Achse geführt, liefen dann längs der Achse fort und endeten in einen mit der Achse concentrischen, seitwärts der Kreuze liegenden Kupferring. Dieser bestand nicht aus einem Stück, sondern war durch isolirende Schichten in so viele Sectionen eingetheilt, als Eisenstäbe mit Drahtspiralen auf der Achse sassen. Der Enddraht der Umwickelung einer Spirale mündete je in dem Kupfersegmente aus, in welchem der Anfangsdraht der nächsten Spirale (des folgenden Kreuzes) seinen Ursprung hatte, so dass die sämmtlichen Drahtspiralen mittelst dieser Segmente des Kupferringes eine ununterbrochene Leitung bildeten.

Digitized by Google

Fig. 166.



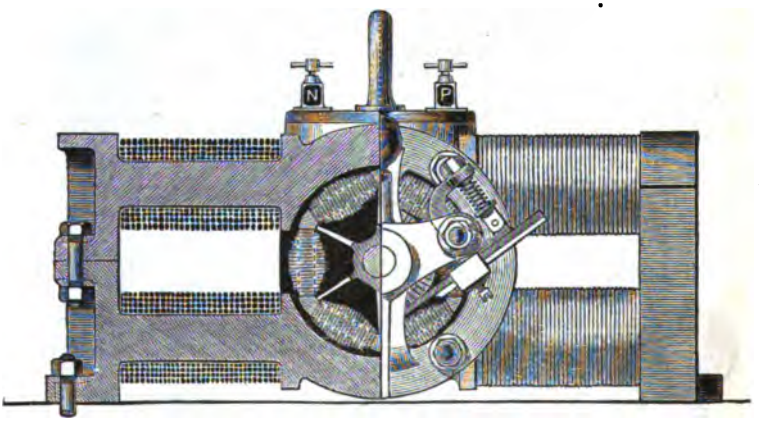
Die dynamo-elektrische Maschine von Bürgin.

Die Maschine jedoch, welche nunmehr als *Bürgin*'sche Maschine in England wohl bekannt ist, zeigt insofern eine andere Anordnung, als an Stelle der Zapfen mehrere Kerne von Eisen mittelst sternartiger Träger auf der Achse befestigt und mit Drahtspiralen umwunden sind. Die Con-

Digitized by Google

struction eines solchen Inductors erhellt hinlänglich aus den Figuren 167—169, welche eine zur Speisung dreier Lampen dienende Maschine in verschiedenen Ansichten, theilweise der äusseren Gestalt nach, theilweise in Quer- resp.

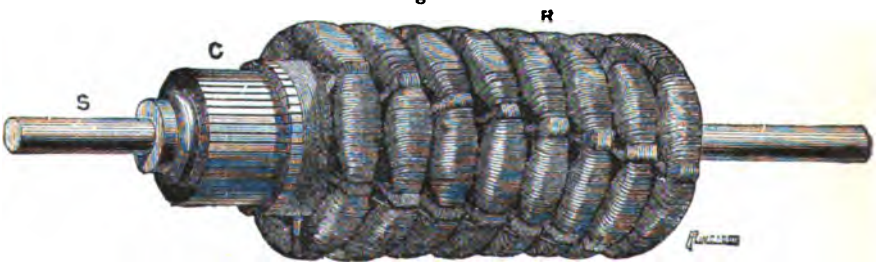
Fig. 167.



Die dynamo-elektrische Maschine von Bürgin (theilweise im Querschnitt).

Längsschnitten darstellen. Hiernach besteht der Inductor aus acht eisernen Kernen, welche ziemlich die Gestalt eines regelmässigen Sechseckes haben und von denen ein jeder gegen den vorhergehenden um $7^1/_2{}^0$ verstellt ist. Jeder Kern ist in

Fig. 168.



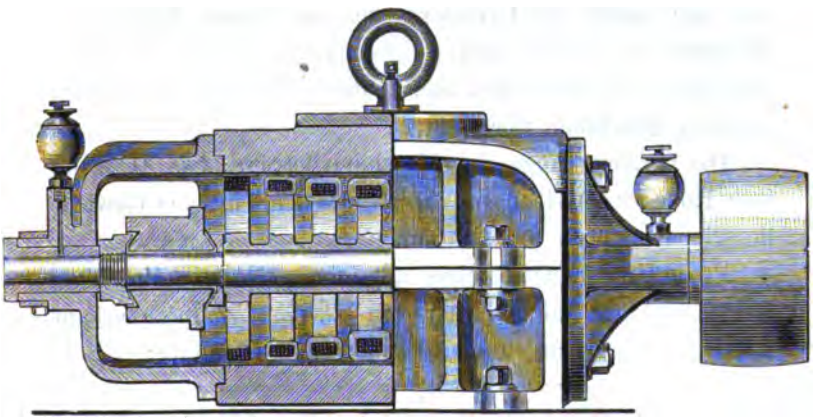
Der Inductor der Bürgin-Maschine.

gleicher Weise mit 6 Spiralen aus Kupferdraht umwunden, welche je 15m lang, 1,5mm dick und so mit einander

Digitized by Google

verbunden sind, dass, wenn man sich die 48 Spiralen in einer Ebene dargestellt denkt, das Drahtende einer vorangehenden Spirale mit dem Anfange der nächstfolgenden Spirale vereinigt ist und daher die Spiralen insgesammt eine einzige geschlossene Leitung bilden. Von jeder Vereinigung zweier Spiralen führt ein Draht zu einem entsprechenden Segmente des Stromsammlers, welcher ganz so wie bei der *Lontin*'schen Maschine gebildet ist und demnach aus so vielen Segmenten besteht, als der Inductor Spiralen besitzt. Letztere

Fig. 169.



Die dynamo-elektrische Maschine von Bürgin (theilweise im Längsschnitt).

sind übrigens so gewunden, dass sie mit einem Minimum von Spielraum sich zwischen den Elektromagneten bewegen können und zu diesen möglichst viel Draht in eine günstige Lage bringen. Der Widerstand der fertigen Armatur beträgt 1,6 *Ohm*.

Die Elektromagnete, von denen ein jeder mit 60 m 3,5 mm dickem Kupferdraht umsponnen ist, sind so ziemlich wie bei der *Siemens*-Maschine angeordnet, wonach die Armaturen den Inductor von oben und unten ganz bedecken; der Widerstand der 4 Elektromagnete beträgt 1,2 *Ohm*, so dass der Gesammtwiderstand der Maschine 2,8 *Ohm* ist.

Digitized by Google

Die elektromotorische Kraft ist auf 195 *Volt* bei 1500 Touren per Minute und 206,5 *Volt* bei 1600 Touren per Minute bei 13,16 *Ohm* Widerstand in der äusseren Leitung angegeben.

Die Art der Stromerzeugung und der Stromrichtung ist dieselbe wie diejenige der *Lontin*'schen Maschine. Die Befestigung der Bürsten, welche auf dem Collector schleifen, ergibt sich aus der Fig. 167.

Aus dieser sowie den Fig. 168 u. 169 ergeben sich auch die constructiven Details, bezüglich deren wir nur erwähnen, dass die Lager wie Cylinderdeckel an beiden Enden der Magnete fest gebolzt sind. Ueberhaupt soll die Maschine von grosser Solidität sein und in dieser Hinsicht die meisten anderen Maschinen übertreffen.

Die Gesammtlänge der Maschine beträgt etwa 0,863m, ihre Höhe ca. 0,342m und ihre Breite 0,711m; das Gewicht derselben ist etwa 6,5 Centner.

Prof. *Hagenbach* stellte mit einer *Bürgin*-Maschine, welche wie fast alle seither von *R. E. Crompton* erbaut wurde, Versuche an und erhielt folgende Resultate:

Anzahl der Flammen.	Lichtstärke der Pferdekraft in N. K.	Lichtstärke jeder Flamme in N. K.
3	800	1360
4	560	700

Die bisher in dieser Abtheilung besprochenen Maschinen haben das gemein, dass der elektrische Strom in zwei Hälften in parallel geschalteten Zweigen entsteht, und dass die beiden Stromzweige in ihrer absoluten Lage fest stehen bleiben. Im Gegensatz hierzu steht die neueste dynamoelektrische Maschine *v. Hefner-Alteneck's*, bei welcher der Strom zwar auch in zwei Stromkreisen erzeugt wird, diese

Digitized by Google

aber ihre Lage fortwährend ändern und in entgegengesetzter Weise wie die Maschinenachse rotiren.

67. Die neueste dynamo-elektrische Maschine v. Hefner-Alteneck's für continuirliche Ströme[1]) ist in der Fig. 170 in der Aufsicht resp. im Längenschnitte und in Fig. 171 in der Seitenansicht dargestellt.

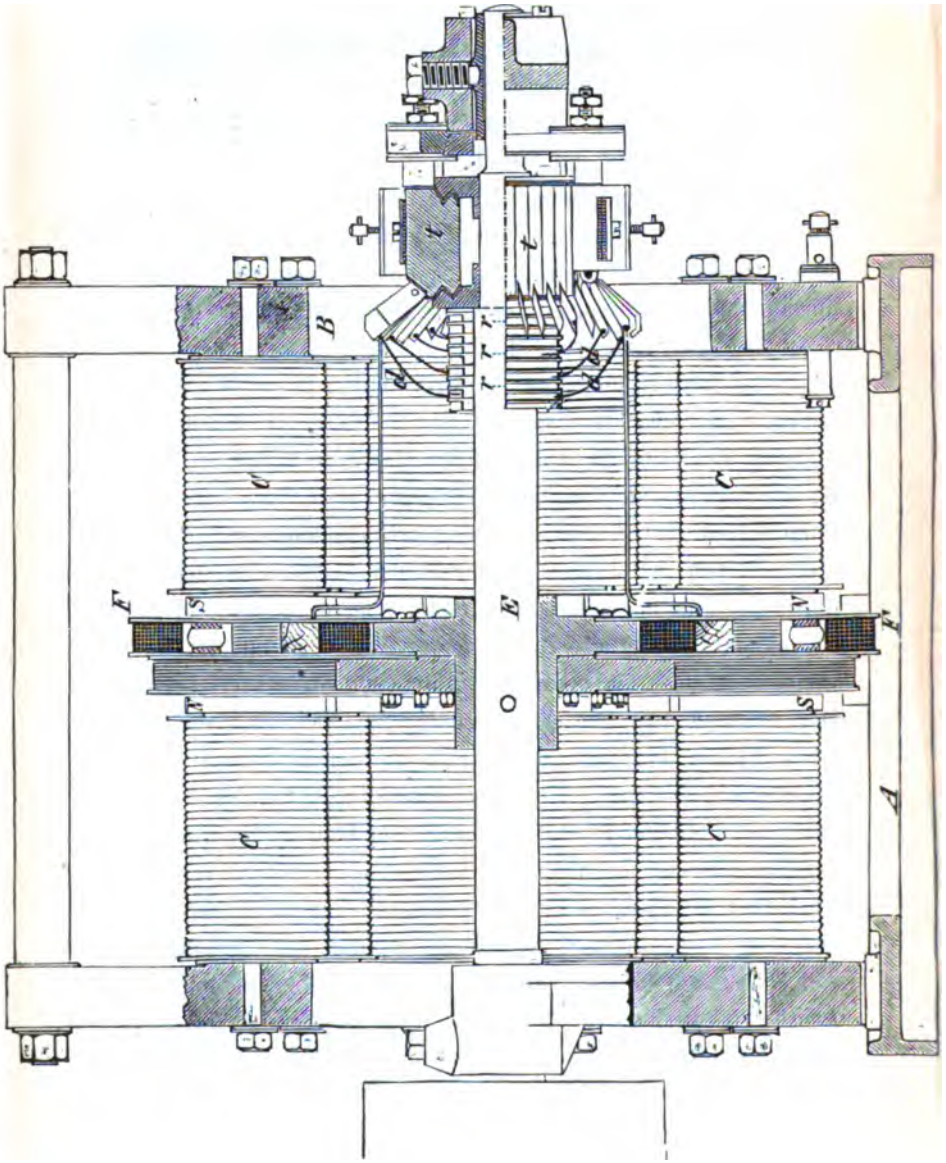
Auf der Grundplatte A sind zwei eiserne Ständer B befestigt, deren Form aus den Zeichnungen ersichtlich ist. Jeder dieser Ständer trägt an seiner inneren, dem gegenüberliegenden Ständer zugekehrten Seite eine gerade Anzahl $(n + 2)$ Elektromagnete, deren einander zugewendete Polenden in passend geformte Verbreitungen N, S, N, S auslaufen. Die Elektromagnete sind derart an jedem der Ständer $B\,B$ um die Achse E der Maschine herum in einem Kreise angeordnet, dass jeder einzelne die entgegengesetzte Polarität sowohl von dem ihm zugekehrten gegenüberliegenden, als auch von den beiden in der gleichen Ebene rechts und links von ihm liegenden hat; dabei sind die Umwindungen der einzelnen Magnete in passender Weise so mit einander verbunden, dass sie einen continuirlichen Stromkreis bilden. Der Abstand zwischen den einander zugekehrten Polflächen ist so klein gewählt, dass zwischen den einzelnen Polen magnetische Felder von hoher Intensität entstehen, deren jedes die entgegengesetzte Polarität der beiden ihm zunächst liegenden Felder besitzt.

Durch die beiden Felder bewegen sich n flache, mit isolirtem Leitungsdraht bewickelte Spulen mit Holzkernen von passender Form, welche im Kreise herum mit der Achse so verbunden sind, dass sie in einer zu derselben senkrechten Ebene liegen und den Raum zwischen den magnetischen Feldern ausfüllen. Da demnach die roti-

1) Vgl. E. Z., Bd. II, p. 163. *F. v. Hefner-Alteneck:* Ueber eine neue dynamo-elektrische Maschine für continuirliche Ströme.

Digitized by Google

Fig. 170.

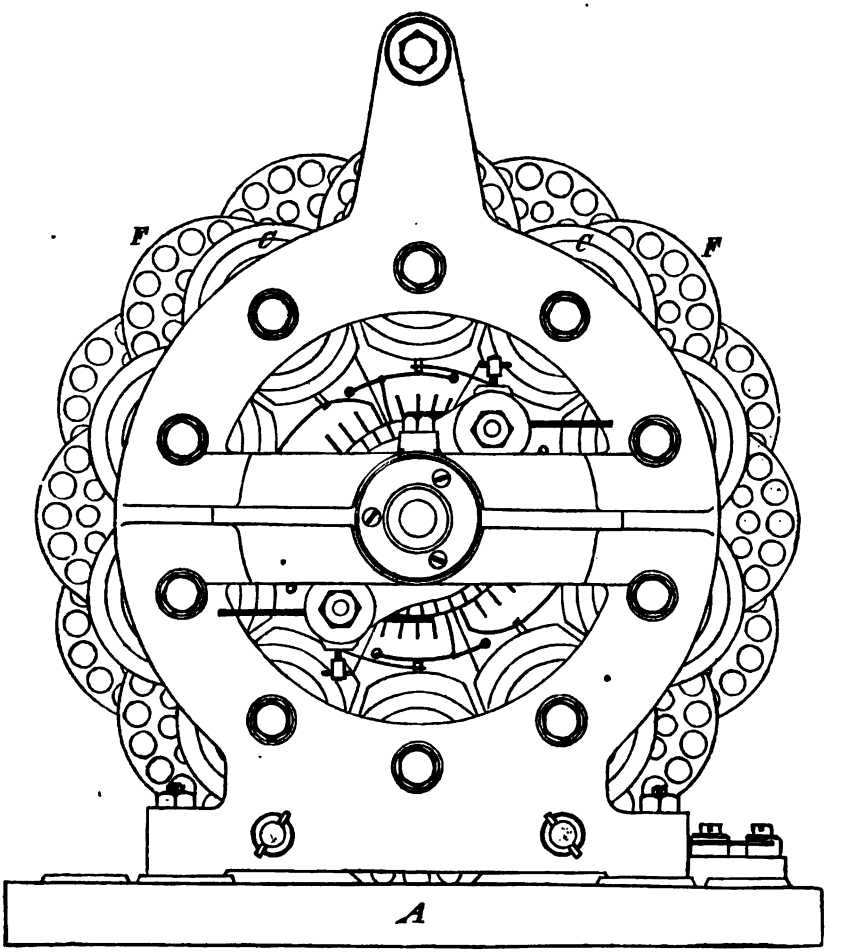


Neueste dynamo-elektrische Maschine v. Hefner-Alteneck's für continuirliche Ströme. (Längenschnitt.)

Digitized by Google

renden Spulen in anderm Abstande von einander stehen als die magnetischen Felder, so kommen von den n Spulen immer nur zwei einander gegenüberliegende gleichzeitig gänz-

Fig. 171.



Neueste dynamo-elektrische Maschine v. Hefner-Alteneck's für continuirliche Ströme (Vorderansicht).

lich in die betreffenden magnetischen Felder zu liegen, während zur nämlichen Zeit die übrigen Spulen noch einen

Digitized by Google

grössern oder kleinern Abstand von den ihnen gerade am nächsten liegenden magnetischen Feldern haben. Die Maxima der Strom-Impulse treten also bei der Drehung der Spulenscheibe in den verschiedenen Spulen nicht gleichzeitig ein, sondern in auf einander folgenden Spulen in nach einander folgenden Zeiten.

Die Enden der Spulumwicklungen sind derart mit einander verbunden, dass der auf allen Spulen befindliche Draht einen continuirlichen, in sich selbst geschlossenen Ring bildet, so aber, dass man beim Verfolgen dieses ganzen Ringes jede Spule in einem andern Sinne als die vorhergehende umkreisen würde.

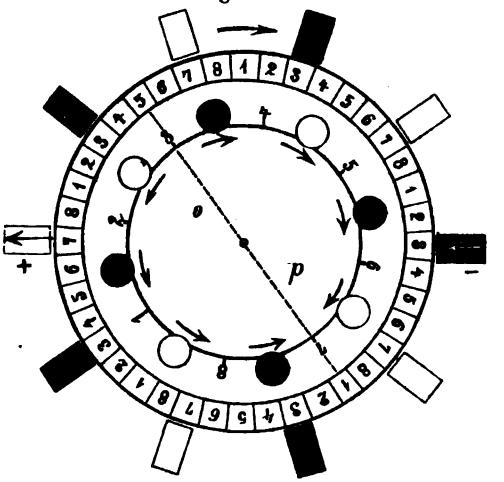
Von den Uebergangsdrähten zwischen je zwei auf einander folgenden Spulen geht ein Verbindungsdraht an je eine Gruppe des Collector-Cylinders. Ein solcher sitzt nämlich auf der Achse der Maschine und besteht aus $n \cdot (\frac{n}{2} + 1)$ von einander und von der Achse isolirten Theilen (v. Fig. 170 t,) welche in n Gruppen so untereinander verbunden sind, dass jede Gruppe $\frac{n}{2} + 1$ Theile umfasst, die je um dazwischen liegende n—1 Collectortheile von einander entfernt sind. Die Verbindungen sind ausgeführt durch n isolirt auf die Achse aufgesteckte metallene Ringe r (Fig. 170), von welchen je $\frac{n}{2} + 1$ sternartig ausgehende Drähte d zu den Collectortheilen der betreffenden Gruppe führen. Zu den Ringen r führen nun die oben erwähnten Verbindungsdrähte, so zwar, dass die auf einander folgenden Uebergangsdrähte auch mit auf einander folgenden Ringen in Verbindung stehen.

Die schematische Fig. 172, für welche $n = 8$ gesetzt ist, wird das Ganze anschaulicher machen. In diesem Schema sind die im verschiedenen Sinne ihrer Umwicklungsrichtung in den Stromkreis eingeschalteten Spulen durch schwarzgefärbte, bezw. weiss gelassene Kreise angedeutet, die magnetischen Felder von verschiedener Polarität durch weisse, bezw.

Digitized by Google

schwarze Vierecke; ausser den Spulen und magnetischen Feldern sind im Schema dargestellt: der mit den Spulen auf derselben Achse sitzende Collector-Cylinder mit seinen von einander isolirten Metallscheiben durch die in den mittleren Kreisen liegenden Felder mit den Bezeichnungen 1 bis 8 u. s. w.; die feststehenden, an dem Collector schleifenden Federn durch die Linien + und —, die Verbindungsdrähte zwischen den Umwicklungen der einzelnen Spulen durch die dazwischen gezogenen Linien 1 bis 8. Die

Fig. 172.



Schematische Darstellung der Entstehung und der Sammlung des Stromes in v. Hefner-Alteneck's Maschine.

vorbeschriebenen Verbindungen zwischen den Spulen und dem Collector-Cylinder sind aber weggelassen; dieselben sind derart ausgeführt zu denken, dass jeder der Uebergangsdrähte 1 bis 8 in leitender Verbindung steht mit jedem gleichbezeichneten Collectortheile (1 1 1 1 1 oder 2 2 2 2 2 u. s. w.). Die einzelnen Theile des Schemas sind nur in richtiger Winkelstellung zu einander, im Uebrigen aber, des bessern Verständnisses wegen, gänzlich aus ihrer wirklichen Lage radial zu einander verschoben angedeutet.

Digitized by Google

Das Schema lässt nun die Wirkungsweise der Maschine leicht erkennen. Denkt man sich nämlich die Spulen mit dem Collector-Cylinder beispielsweise im Sinne eines Uhrzeigers gedreht, so mag man die augenblickliche Stellung der Spulen mit dem Collector-Cylinder zu den magnetischen Feldern annehmen wie man will, man wird stets eine durch den Mittelpunct gehende Linie finden können, welche die Figur in zwei Hälften theilt, so zwar, dass in der einen Hälfte nur bezw. gleichfarbige Spulen und Felder sich einander nähern, in der andern Spule nur ungleichfarbige; für die in der Figur gezeichnete Stellung der Spulen ist diese Linie punctirt gezeichnet.

Nähern sich nun gleichzeitig etwa zwei aufeinanderfolgende Spulen den nächsten benachbarten magnetischen Feldern, die verschiedene Polarität haben, so entstehen in den beiden Spulen verschieden gerichtete Strom-Impulse, welche jedoch in Folge der beschriebenen Verbindung der einzelnen Spulen miteinander zu einem gleichgerichteten verstärkten Strome sich vereinigen; daher folgt, dass alle Spulen der einen Hälfte einen Strom im Sinne der Drehung, alle Spulen der zweiten Hälfte einen Strom im entgegengesetzten Sinne geben. In den Puncten 3 und 7 kann daher momentan ein Strom abgeleitet werden; diese Puncte stehen aber, wie schon erwähnt, mit den Ringen *r* 3 und 7 und durch diese wiederum mit allen Collectortheilen in Verbindung, welche mit 33... bezw. 77... bezeichnet sind. In der gezeichneten Stellung stehen aber eben 2 Collectortheile 3 und 7 auf der einen und anderen Seite unter den Schleiffedern; diese führen also einen elektrischen Strom ab in die sie mit einander verbindende äussere Leitung.

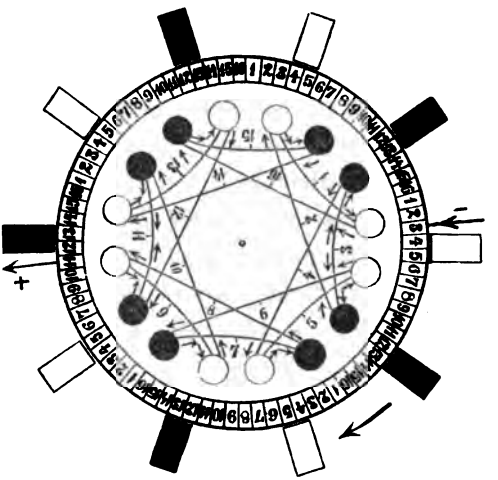
Auch für jede andere Stellung der rotirenden Theile findet sich, dass stets die erwähnte imaginäre Halbirungslinie durch diejenigen beiden Puncte des innern Schliessungskreises geht, welche mit den Collectortheilen, auf denen im

Digitized by Google

gleichen Momente die festen Schleiffedern stehen, in Verbindung sind. Daraus folgt, dass von dem +Pole zu dem —Pole ein continuirlicher Strom übergeführt wird.

Aus dem Mitgetheilten geht schon hervor, dass die Zahl der Spulen und magnetischen Felder vielfach abgeändert werden kann; so können auch auf n Spulen $n-2$ magnetische Felder kommen. Auch kann man unter Beibehaltung der Zahl der magnetischen Felder (etwa $n+2$) die der Spulen ($2n$) verdoppeln. Eine solche Verdoppelung der

Fig. 173.



Schematische Darstellung der Entstehung und der Sammlung des Stromes in v. Hefner-Alteneck's Maschine.

Spulen bietet den besonderen Vortheil, dass wegen ihrer constanten Rückwirkung auf die Elektromagnetpole die Wirkung der Maschine besser und ihr Gang ruhiger wird und dass die Funken am mehrtheiligen Collector gering werden. Es werden dabei die Spulen in zwei Ebenen an einander liegend derart angeordnet, dass sie sich gegenseitig zur Hälfte überdecken, wie dieses aus der Figur 171 ersichtlich ist.

Digitized by Google

In Fig. 173 ist das dem Schema (Fig. 172) analoge Schema für eine solche Maschine gezeichnet. Man ersieht daraus, dass die Spulen, in welchen die sich addirenden Stromimpulse eintreten, nicht mehr räumlich aufeinanderfolgen, sondern sprungweise im Kreise herum liegen und dementsprechend hintereinander in den Stromkreis geschaltet sind. Desshalb erscheint die in Fig. 172 sich als Kreis darstellende Verbindungsleitung zwischen den Spulen hier in Fig. 173 als eine im Kreise herum vor- und wieder zurückspringende Linie. Der Collector-Cylinder hat 80 Theile. In der gezeichneten Stellung geht die Theilungslinie durch die Verbindungspuncte 3 und 11 und sind die augenblicklichen Stromrichtungen durch Pfeile angedeutet.

Ein wesentlicher Vorzug der Maschine besteht in der einfachen Art der Wicklung und der Möglichkeit, die Isolation der Spulenumwindungen von den Metalltheilen der Maschine sicher herzustellen. Nicht minder wichtig ist, dass die Spulen kein Eisen enthalten und somit ein magnetischer Polwechsel nicht statt findet. Hiernach wird der mit einem Polwechsel verbundene Kraftverlust vermieden, sowie die Möglichkeit einer im Verhältniss zur Stromstärke geringen Erwärmung der Maschine gewonnen. Dabei findet eine vorzügliche Abkühlung statt, welche die Spulen durch die sie überall von aussen und innen umstreichende Luft erfahren.

Digitized by Google

VI. Abtheilung.

Die neueren Wechselstrom-Maschinen.

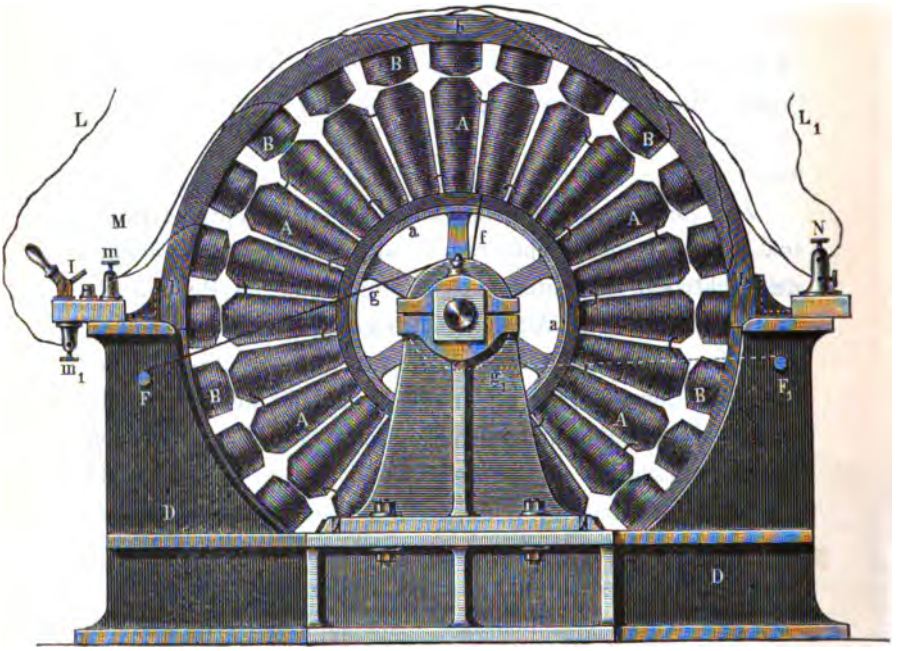
(Maschinen zur Erzeugung mehrerer Partialströme.)

Zur Zeit, als die Nebenschluss- und Differential-Lampen (cf. Abth. X) noch nicht erdacht waren, gelang die Theilung des elektrischen Lichtes mittelst der einfachen Regulatoren nur insofern, als bei Anwendung gewisser Maschinen mehrere von einander unabhängige Ströme erzeugt und in jeden einzelnen derselben ein Regulator geschaltet werden konnte. Einige dieser Maschinen sind bereits besprochen worden. Es sind dieses die Maschinen von *Wallace-Farmer*, §. 64, *Brush*, §. 41, *Lontin*, §. 65. Bei der letzteren braucht man nur mehrere Inductorräder auf eine und dieselbe Achse zu setzen und jedes Rad mit einem besonderen Stromansammler und Ableiter zu versehen, um eben so viele von einander unabhängige Ströme zu erhalten, als elektrische Lichter zu erzeugen sind; dabei lässt es sich leicht einrichten, dass man ganz nach Belieben die Inductorräder vermittelst eines Umschalters zu zwei oder mehreren unter einander verbinden und dann einen Strom erzeugen kann, welcher die Summe aller Einzelströme ist. Sämmtliche erwähnten Maschinen erzeugen nur gleichgerichtete Ströme; zur Zeit war man aber gleich *Lontin* der Ansicht, dass die Maschinen mit Wechselströmen für die Erzeugung des elektrischen Lichtes am vortheilhaftesten seien. Worin dieser Vortheil besteht,

Digitized by Google

haben wir bereits (p. 102) angeführt; im Uebrigen dürfte es kaum mehr zweifelhaft sein, dass die Maschinen mit continuirlichem Strome sich zum Gebrauche bei der öffentlichen Beleuchtung mehr empfehlen und den Maschinen mit Wechselströmen an Kraft überlegen sind. Dieser Ansicht treten

Fig. 174.



Lontin's dynamo-elektrische Grossmaschine.

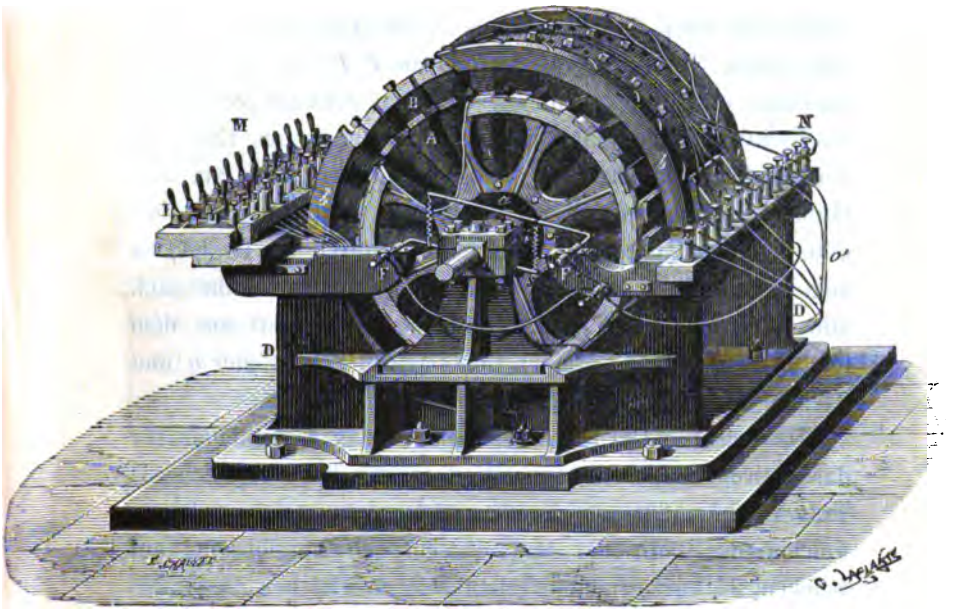
Physiker und Ingenieure immer mehr bei; namhafte Fachleute wie *Crompton* und *Schuckert* versichern sogar, dass die Wechselstrom-Maschinen niemals unter gleichen Umständen mit Maschinen für gleichgerichtete Ströme werden concurriren können, welche letzteren in Bezug auf Widerstand, Geschwindigkeit u. s. w. bei weitem mehr Nutzeffect im Flammenbogen geben sollen als die ersteren. Von seiner Voraussetzung ausgehend, baute indessen *Lontin* ausser der

Digitized by Google

(§. 65) beschriebenen Maschine auch Wechselstrom-Maschinen, welche Partialströme erzeugen, grosse Aehnlichkeit mit der englischen Maschine von *Holmes* besitzen und in der Hauptsache auf folgende Weise construirt sind:

68. Lontin's Wechselstrom-Maschine. Mit der Rotationsachse ist ein isolirter eiserner Radkranz *a a* (Fig. 174 u. 175)

Fig. 175.



Die grosse Wechselstrom-Maschine von Lontin.

fest verbunden, auf dessen Aussenseite 24 kräftige Elektromagnete *A A* radial befestigt sind. Die Drahtwindungen dieser letzteren stehen mit einander in Verbindung und bilden eine einzige, nur an zwei Enden unterbrochene Leitung, und diese Enden *f* selbst sind auf den zu beiden Seiten des Rades auf der Achse sitzenden, von einander gut isolirten Contactringen befestigt. Wie die Figur zeigt, sind die Drahtenden je zweier benachbarter Elektromagnete derart

Digitized by Google

mit einander verbunden, dass dieselben durch den hindurchgehenden Strom an ihren nach aussen gerichteten Stirnflächen entgegengesetzte Polaritäten erhalten, wonach in den aufeinander folgenden 24 Elektromagneten Nord- und Südpole sich abwechseln. Den zur Sättigung der Elektromagnete erforderlichen Strom liefert eine *Lontin*'sche Hülfsmaschine von der vorhin beschriebenen Einrichtung (vergl. §. 65), deren Sternrad entweder auf der Hauptachse der Maschine befestigt ist oder für sich allein in Rotation versetzt wird, und deren Strom bei den Klemmen $F\ F_1$ in die Hauptmaschine eintritt. Von diesen Klemmen geht auf jeder Seite des Elektromagnet-Rades ein Draht $g\ g$ ab, dessen Ende auf den beiden Contactringen federnd aufliegt. Der aus der Hülfsmachine bei F eintretende Strom gelangt daher über g und den entsprechenden Contactring durch den Draht f zu dem ersten Elektromagnet, durchläuft dann der Reihe nach alle Elektromagnete A hintereinander und kehrt aus dem letzten über Draht f, seinen Contactring, Schleiffeder g und Klemme F_1 nach der Hülfsmaschine zurück.

Das eiserne Gerüst $D\ D$, welches das Achsenlager für das rotirende Elektromagnet-Rad trägt, dient zugleich als Träger eines äussern Kranzes $b\ b\ b$ von weichem Eisen, welcher das rotirende Rad concentrisch umgibt und auf welchem 24 kurze Inductorrollen $B\ B$ in gleichen Abständen von einander befestigt sind. Bei der Rotation der Elektromagnete A streichen ihre Polenden ganz nahe an den eisernen Kernen der Inductorrollen B vorüber, und da je zwei benachbarte Polenden ungleichnamig magnetisirt sind, so werden auch bei der Drehung des Rades die inducirten Pole der eisernen Kerne der Inductorrollen beständig umgekehrt; es entstehen daher in den letzteren unausgesetzt Wechselströme, die sich, wenn die Drahtwindungen der Rollen danach eingerichtet sind, ganz oder theilweise summiren und nach aussen abgeleitet werden können.

Digitized by Google

Die Ableitung und Theilung des Stromes geschieht auf folgende Weise: Die Drahtenden der einzelnen Rollen *B B* sind nicht direct mit einander verbunden, sondern gehen einzeln nach entgegengesetzten Seiten der Maschine ab, die einen nach *M*, wo eine bewegliche Contactvorrichtung angebracht ist, die anderen nach *N*; von *M* und *N* geht die Leitung $L\,L_1$ ab, in welcher der Strom der Maschine seine Arbeit auszuführen hat.

Der Contactschliesser *M* enthält so viele einzelne Contacte, als Ströme von der Maschine abzuleiten oder elektrische Lichter zu erzeugen sind. Die Anzahl dieser nutzbaren Arbeitsströme ist durch die Construction der Maschine bedingt und hängt ab von der Zahl der Inductorrollen *B*. Bei der in der Fig. 174 und Fig. 175 abgebildeten Anordnung liefern je zwei dieser Rollen einen nutzbaren Strom und die 24 Rollen liefern 12 von einander unabhängige Stromsysteme. Jeder einzelne Contactschliesser *M* hat zwei isolirte Klemmen mm_1, welche durch den von der Hand zu bewegenden Taster mit einander verbunden oder, wie in der Figur, getrennt werden können; bei der Klemme *m* tritt der Strom aus der Maschine aus und, wenn *J* niedergedrückt ist, bei m_1 in die Leitung *L*. Ausserdem enthält jeder Contactschliesser noch eine besondere Schaltvorrichtung, durch welche er sofort mit seinem benachbarten Schliesser verbunden werden kann; es ist daher möglich, durch ein einfaches Umlegen eines Contacthebels sämmtliche einzelnen Stromsysteme sofort zu einem einzigen Strome zu vereinigen oder von einander getrennt in die Leitung einzuführen. Auf der entgegengesetzten Seite *N* der Maschine befindet sich eine Reihe von Klemmen, in welche die anderen Enden der Inductorrollen befestigt sind und von denen der zweite Zweig L_1 einer jeden Leitung abgeht.

Die grossen Vorzüge dieser letzteren Maschine von *Lontin* bestehen einestheils darin, dass man nach Belieben

Digitized by Google

und nach dem Bedürfnisse mehrere ganz von einander unabhängige Ströme von verschiedener Stärke aus derselben ableiten und zur Erzeugung mehrerer elektrischer Lichter verwenden kann, anderntheils darin, dass man zur Ableitung dieser Ströme nicht der reibenden Bürsten bedarf, die, abgesehen von ihrer Abnutzung, stets die Quelle von erheblichen Stromverlusten bilden.

Bei einer Rotationsgeschwindigkeit des Elektromagnet-Rades von 320 Touren per Minute liefert die Maschine mit 24 Inductorrollen 12 getrennte Stromsysteme, wenn die Rollen zu je zwei hintereinander verbunden sind; jeder dieser Ströme erzeugt ein Licht von 100 Carcel-Brennern. Bei 150 Touren liefert sie durch Kuppelung von je 8 Rollen noch 3 Stromsysteme, jedes äquivalent mit 200 Carcel-Brennern.

Es sind besondere Vorkehrungen getroffen, um der Gefahr einer Ueberhitzung der Maschine vorzubeugen, die daraus entstehen würde, dass zeitweilig nur einige Stromsysteme nach aussen nutzbar verwendet würden, die anderen aber in der Maschine verblieben und sich dort in Wärme umsetzten. In solchen Fällen werden die nicht zur Verwendung kommenden Ströme durch einen Umschalter statt in die Leitung in einen eigens zu diesem Zwecke mit der Maschine verbundenen Widerstands-Apparat geleitet, welcher diese Ströme aus der Maschine ableitet, dieselben gewissermaassen absorbirt und für die Maschine unschädlich macht.

Die grössere Maschine hat eine Zeit lang zur Beleuchtung des Bahnhofes zu Lyon gedient, wo sie an einunddreissig verschiedenen Stellen elektrische Lampen speiste, von denen jede eine Lichtstärke von etwa 46 Carcel-Brennern besass. Wir haben nicht erfahren können, wie gross der zum Betriebe der Maschine erforderliche Aufwand an mechanischer Arbeit war; bei einer anderen Maschine dieser Art, welche 24 einzelne Lichter à 200 Bec-Carcel oder 48 Lichter

Digitized by Google

à 100 Bec-Carcel speiste, war der Aufwand an Betriebskraft 20 bis 22 Pferdekräfte; bei kleineren Maschinen von 300 bis 400 Carcel-Brennern sind nahezu 6 Pferdekräfte erforderlich. Seitdem hat *Lontin* noch wesentliche Verbesserungen an seinen Maschinen angebracht, durch welche es möglich wird, die Stärke der erzeugten Ströme, mögen sie gleichgerichtet oder Wechselströme sein, während des Ganges der Maschine von der Hand zu verändern, und zwar nach Belieben entweder bei sämmtlichen Strömen zu gleicher Zeit oder auch nur bei einzelnen, was allerdings überall da von Vortheil ist, wo die Maschine mehrere von einander unabhängige, verschieden grosse Operationen gleichzeitig auszuführen hat. In jüngster Zeit hat die Société Lyonnaise in Paris die Ausbeutung dieser Maschine in die Hand genommen und beleuchtet mit derselben unter anderm den Place du Carrousel.

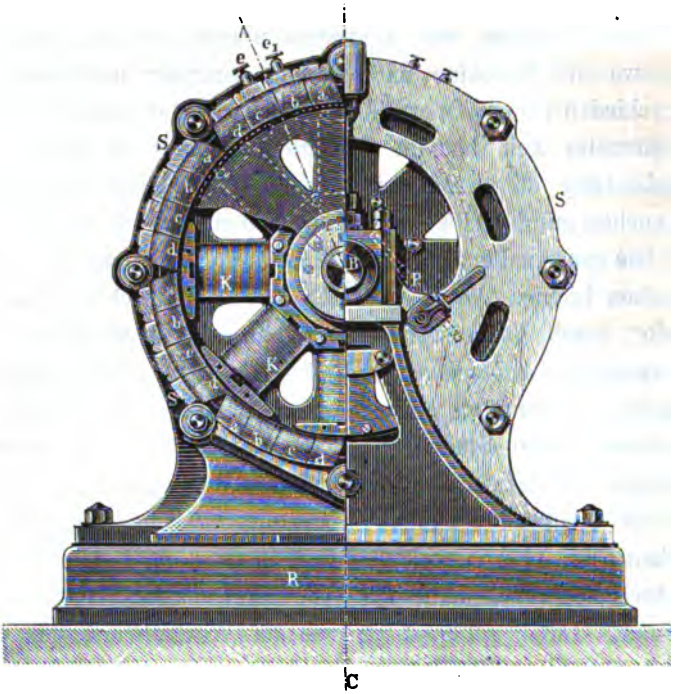
Die grossen Fortschritte, welche in der Theilung des elektrischen Lichtes (Abth. X) theils durch die Maschine *Lontin*, theils durch Verbesserung und zahlreiche Anwendung der sogenannten *Jablochkoff*'schen Lichter (Abth. XI) gemacht wurden, bestimmten auch den rastlos vorwärts strebenden *Gramme*, seine Studien über die Vervollkommnung seiner dynamo-elektrischen Ringmaschinen für gleichgerichtete Ströme einstweilen ruhen zu lassen, um seine ganze Thätigkeit auf eine zweckmässige Construction von dynamo-elektrischen Maschinen für Wechselströme richten zu können. Dabei schliesst er sich im Wesentlichen den typischen Formen an, welche in den älteren Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* und des Engländers *Holmes* für die Erzeugung alternirender Ströme gegeben sind, ohne jedoch dieselben einfach zu copiren; im Gegentheil geben sich in den Einzelheiten dieser neuen *Gramme*'schen Maschinen so vortheilhafte Dispositionen zu erkennen, wie sie von dem auf dem Gebiete der Elektricität so erfahrenen Erfinder nicht anders zu erwarten sind. Die Haupttheile dieser

Digitized by Google

69. Gramme'schen Maschinen für Wechselströme,[1]) welche in den Fig. 179 (Ansicht), Fig. 176 (Kopfansicht und Querschnitt) und Fig. 177 (Schnitt durch die Linien *AB*, *BC*) abgebildet werden, sind folgende:

1) Zwei starke, nahezu kreisförmige Seitenwände *D*, welche durch acht cylindrische kupferne Querriegel fest mit einander verbunden sind; 2) eine Stahlachse *F*, auf welcher

Fig. 176.



Gramme'sche Maschine für Wechselströme.

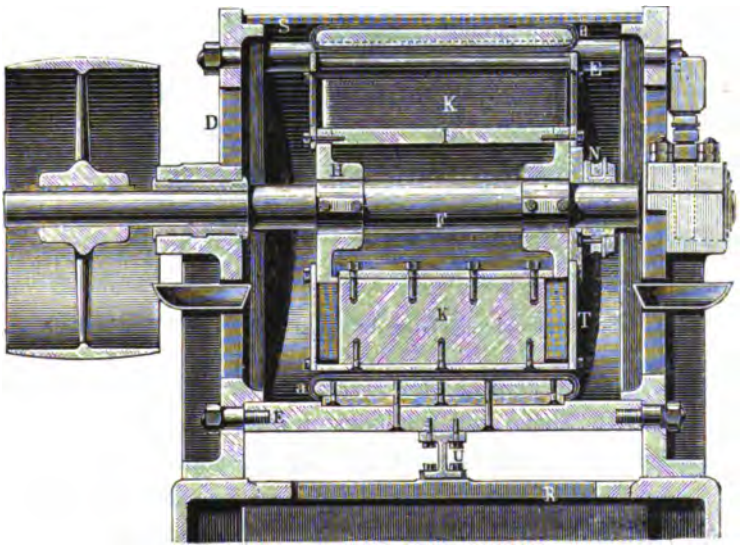
vermittelst zweier gusseiserner Kränze *H* und einer achtseitigen, ebenfalls gusseisernen Nabe *J* acht kräftige Elektromagnetkerne *K K* befestigt sind; 3) eine Reihe von lang-

1) *Hipp. Fontaine* in Revue industrielle, 1878, 23.

Digitized by Google

gestreckten Gewinden aus Kupferdraht *a*, *b*, *c*, *d*, die entweder auf ein ringförmiges Stück weichen Eisens oder auf eine gleiche Anzahl kreisförmiger Segmente von weichem Eisen dicht neben einander aufgewickelt sind und nach aussen durch einen kupfernen Reifen festgehalten werden; 4) zwei auf der Achse sitzende Rollen *N*, gegen welche zwei verstellbare bandförmige Drahtbürsten *P* (Fig. 176) anfedern;

Fig. 177.

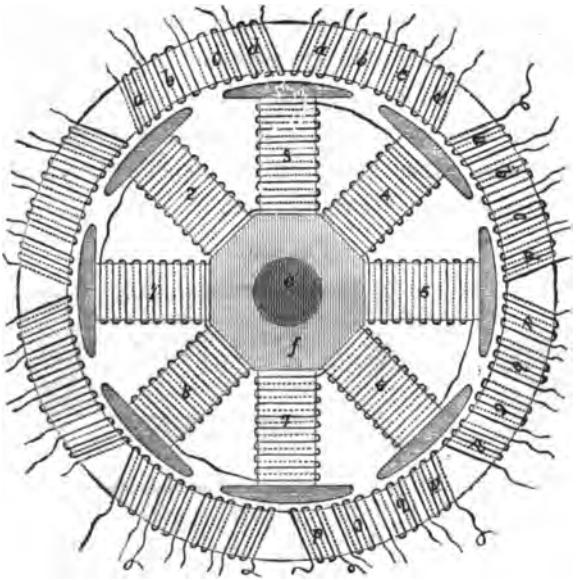


Dynamo-elektrische Maschine von Gramme für Wechselströme.

5) zwei dünne, mit der Achse fest verbundene Scheiben *T*, welche den Zweck haben, die nach beiden Seiten verlängerten Polschuhe (Armaturen) der Elektromagnete gegen die Wirkung der Centrifugalkraft zu schützen; 6) ein Fussgestell *R*, auf welchem das ganze Gerüst der Maschine und der dasselbe verstärkende Träger *U* befestigt ist; 7) eine gefirnisste und behufs einer kräftigen Ventilation der Drahtrollen beiderseits mit vielen Oeffnungen versehene Deckplatte von Mahagoniholz; 8) eine Reihe kleinerer Theile zum

Digitized by Google

Fig. 178.



Schematische Darstellung der Gramme'schen Maschine für Wechselströme.

Zwecke, die Stabilität der Maschine zu vergrössern, ihre beweglichen Theile zu schützen und zu ölen, sowie überhaupt einen regelmässigen Gang der Maschine zu erzielen.

Die Elektromagnete erhalten den zu ihrer Magnetisirung erforderlichen elektrischen Strom über die zwei Drahtbürsten *P* und die von einander isolirten messingenen Rollen *N*. In der Regel wird dieser Strom von einer gewöhnlichen secundären Maschine von *Gramme* für gleichgerichtete Ströme abgegeben, aber es kann dazu auch jede andere kräftige Elektricitätsquelle dienen, oder auch, wie bei der Maschine *Lontin*, ein *Gramme*'scher Ring, der auf der Achse *F* befestigt ist und mit dieser umläuft.

Die acht, in genau gleichen Entfernungen im Kreise gestellten und auf der Achse *F* befestigten Elektromagnete (Fig. 178) sind mit nach aussen kräftig abgerundeten, nach beiden Seiten stark verlängerten Armaturen versehen, welche nur

Digitized by Google

einen kleinen Zwischenraum zwischen sich lassen. Da die Umwindungsdrähte von einem zum andern entgegengesetzte Richtungen haben, so haben auch je zwei benachbarte Armaturen entgegengesetzte Pole, so dass ein Nordpol zu beiden Seiten einen Südpol hat und umgekehrt. Die 32 äusseren Drahtrollen *a*, *b*, *c*, *d* ... sind von einander isolirt, und jede gibt ihre Enden an zwei isolirte Klemmen *e* e_1 (Fig. 176) ab, so dass es möglich ist, ganz nach Belieben 32 einzelne, von einander unabhängige Ströme aus der Maschine abzuleiten, oder auch durch geeignete Verbindung der Klemmen 16, 8 oder sogar nur 4 einzelne Ströme (von grösserer Stärke) zu erhalten, wie dieses gegenwärtig bei der Beleuchtung des Hippodroms, des Opernplatzes u. s. w. zu Paris geschieht.

Wenn die Maschine in Thätigkeit gesetzt wird, rotiren die langgestreckten kräftigen Magnetpole dicht an den ebenso langen Drahtbündeln *a*, *b*, *c*, *d* vorüber und erzeugen dadurch in diesen letzteren Inductionsströme (§§. 8 und 11), deren Intensität von der Kraft der Magnetpole und von der Geschwindigkeit der Rotation abhängt.

Da die Pole in jedem Moment zu jeder der mit gleichen Buchstaben bezeichneten Drahtrolle eine und dieselbe Lage haben, so ist auch die Stromstärke in einer jeden dieser Rollen, z. B. in *a*, gleich gross; ebenso ist sie in diesem Moment in allen Rollen *b* gleich gross, jedoch verschieden von der Stromstärke in *a*. Während einer ganzen Umdrehung der Achse ist daher, da jede Rolle gegen die Magnetpole ein gleiches Verhalten zeigt wie alle übrigen, die Stromstärke in allen Rollen *a* ebenso gross, wie in allen Rollen *b*, *c* oder *d*. Will man daher aus der Maschine 4 einzelne Ströme ableiten, so braucht man nur die 8 Drahtrollen *a* hinter einander zu verbinden, ebenso die sämmtlichen Rollen *b*, die 8 Rollen *c* und die 8 Rollen *d*; jede dieser 4 Gruppen liefert einen Strom, der eine achtmal so

Digitized by Google

grosse Spannung hat, als der Strom einer einzelnen Rolle.

Wenn sich ein magnetischer Nordpol einer Rolle, z. B. *a*, nähert, so entsteht in dieser ein Strom von bestimmter Richtung; der benachbarte Pol ist ein Südpol, und wenn sich dieser der benachbarten Rolle *a* nähert, so entsteht in dieser ein Strom von entgegengesetzter Richtung. Beabsichtigt man daher, die Maschine so einzurichten, dass in allen gleichliegenden Rollen, z. B. *a*, zu gleicher Zeit gleichgerichtete Ströme entstehen, so müssen die Windungen dieser Rollen abwechselnd entgegengesetzte Richtungen haben; will man dagegen in allen gleichliegenden Rollen zu gleicher Zeit Ströme von entgegengesetzter Richtung haben, so müssen die Drahtwindungen derselben gleichgerichtet sein. Man mag nun in dieser Beziehung eine Einrichtung treffen, welche man will, die Unabhängigkeit aller Rollen unter sich und die Disposition der Klemmen e, e_1, in denen die Enden der Rollen befestigt sind, gestattet, ganz nach Belieben die Rollen auf Quantität oder auf Spannung zu kuppeln und ebenso Ströme von gleicher oder von entgegengesetzter Richtung aus der Maschine abzuleiten.

Gramme hat nach diesem Systeme drei verschieden grosse Maschinen für Wechselströme gebaut.

Die erste, welche in den vorstehenden Figuren 176 und 177 abgebildet ist, speist 16 *Jablochkoff*'sche Lichter; sie erfordert zu ihrem Betriebe 16 Pferdekräfte und kostet mit der zur Magnetisirung der Elektromagnete erforderlichen *Gramme*'schen Hülfsmaschine 10000 fr. Mit der Riemenscheibe misst sie 89 cm in der Länge, 76 cm in der Breite und 78 cm in der Höhe; sie nimmt einen Raum von $^1/_2$ cbm ein; ihre Maximalgeschwindigkeit ist 600 Touren in der Minute, ihr Gesammtgewicht 650 kg. Der Kupferdraht der Drahtrollen und der Elektromagnete wiegt 103 kg.

Die zweite Maschine speist 6 *Jablochkoff*'sche Kerzen,

Digitized by Google

erfordert zu ihrem Betriebe 6 Pferdekräfte und kostet mit der erregenden *Gramme*'schen Hülfsmaschine 5000 fr. Sie ist 70 cm lang, 40 cm breit und 52 cm hoch und nimmt einen Raum ein von 0,15 cbm. Sie macht 700 Touren in der Minute und wiegt 280 kg; der wirksame Kupferdraht wiegt 40 kg.

Die dritte Maschine speist 4 *Jablochkoff*'sche Kerzen; sie erfordert 4 Pferdekräfte und kostet einschliesslich der Hülfsmaschine 3500 fr. Bei einer Länge von 55 cm, einer Breite von 40 cm und einer Höhe von 48 cm nimmt sie einen Raum ein von 0,11 cbm. Sie macht 800 Touren in der Minute und wiegt 190 kg; das Gewicht des wirksamen Kupferdrahtes beträgt 28 kg.[1])

Vergleicht man das System *Gramme* für Wechselströme mit dem ältern Systeme für gleichgerichtete Ströme, so findet man leicht folgende Unterschiede in der Construction und in der Leistung. Bei den Maschinen der letzteren Art rotirt ein Drahtgewinde ohne Ende, welches auf einem eisernen Ringe aufgewickelt ist, an den Polen eines Stahl- oder Elektromagnets vorbei; die wesentlichen Theile der Construction sind dieser Ring, ein Stromsammler und ein Elektromagnet mit entgegengesetzten Polen; das Resultat ist ein continuirlicher, bei gleicher Geschwindigkeit der Rotation constanter Strom von gleichbleibender Richtung. Das Princip der neuesten Maschine besteht dagegen in der Rotation von Elektromagneten und deren directem Einwirken auf festliegende Drahtrollen. Die wesentlichen Constructionstheile sind Elektromagnete mit einfachen Polen und einzelne, völlig von einander getrennte und isolirte Drahtrollen, deren Windungen gleich oder entgegengesetzt gerichtet sein können; das Resultat ist ein System von Wechselströmen wie bei den *Alliance*-Maschinen u. s. w., das zur

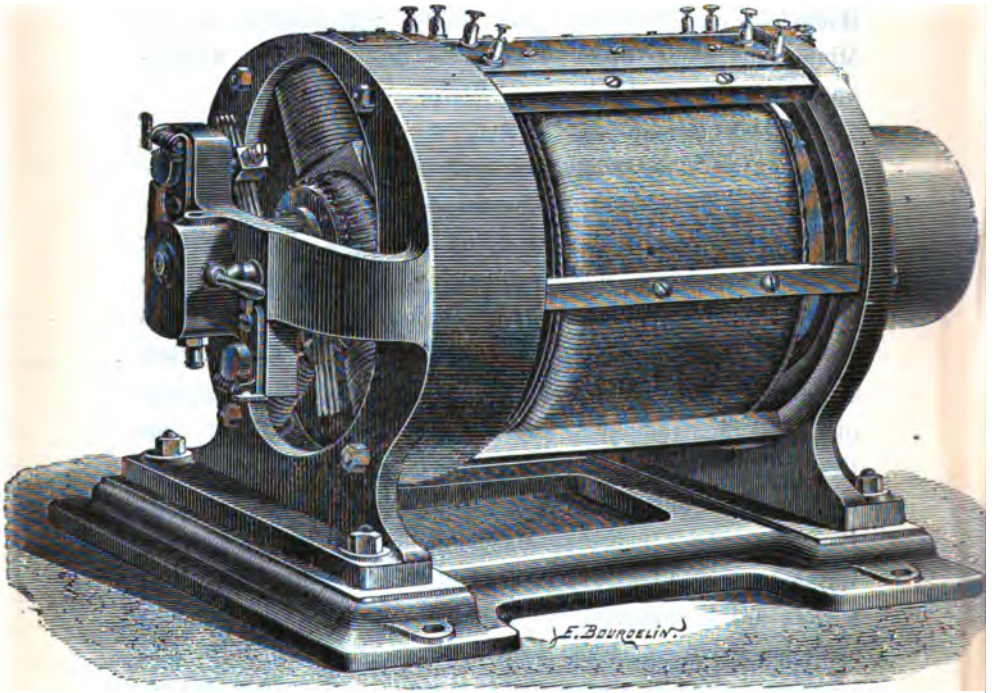
1) Vgl. den Bericht *Jamin's* über die elektrische Kerze. Z. f. a. E. 1880, p. 249.

Digitized by Google

Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes verwendet werden kann und zur Speisung von *Jablochkoff*'schen Kerzen erforderlich ist.

Bei der aus dem Jahre 1878 stammenden Wechselstrom-Maschine erregte *Gramme* die beweglichen Armaturen durch eine eigene kleine Hülfsmaschine für continuirlichen Strom. Diese Einrichtung erschwerte die Transmission und besass

Fig. 179.



Die Wechselstrom-Maschine von Gramme.

einige Nachtheile in betreff der Gleichmässigkeit des Lichtes, welches die Wechselströme mittelst elektrischer Kerzen erzeugte; daher vereinigte *Gramme* bei einer neuen besseren und dazu billigeren Maschine die beweglichen Theile der

Digitized by Google

beiden Maschinen auf einer und derselben Achse, so dass sie mit gleicher Geschwindigkeit rotiren.

Während die Anordnung der Wechselstrom-Maschine (mit 6 Elektromagneten) fast die gleiche wie die frühere geblieben ist, unterscheidet sich die Maschine für den continuirlichen Strom dadurch von der entsprechenden älterer Construction, dass nunmehr 2 Elektromagnete radial gegen den *Gramme*'schen Ring unter rechten Winkeln aufgestellt (vgl. Fig. 179 links) und so mit Armaturen versehen sind, dass in dem Ringe wiederum 2 Pole inducirt werden. Der Strom der erregenden Maschine geht, bevor er durch Schleifcontacte in die Wechselstrom-Maschine übergeführt wird, durch einen Kupferdraht, dessen Länge und Querschnitt leicht zu verändern ist, so dass die Stromstärke in den beiden Maschinen geändert werden kann.

Die Bewicklung unterscheidet sich von derjenigen der älteren Maschinen, in so fern zwei Drähte zugleich, anstatt eines einzigen, gewickelt sind, damit man für kleine Kerzen einen Intensitätsstrom, für grössere Kerzen einen Quantitätsstrom erzeugen kann.

Jetzt werden die Maschinen in zwei Grössen gebaut; die kleineren wiegen 280kg und speisen 12 Kerzen mit 20 bis 30 Carcel-Brennern Lichtstärke, oder 8 mit 40 bis 50 Brennern; die grösseren wiegen 470kg und speisen 24 Kerzen zu 20 bis 30, oder 16 mit 40 bis 50 Brennern. In der nachfolgenden Tabelle wurden die 4 ersten Versuche mit einer kleinen, von einer *Otto*'schen Gaskraftmaschine getriebenen Maschine angestellt; die Abtheilungen der Spule waren parallel geschaltet, so dass sie 2, 3 und 4 getrennte Stromkreise bildeten. Die Triebkraft wurde mittelst eines *Prony*'schen Zaumes gemessen. Die Kerzen hatten Kohlenstäbe von 4mm Durchmesser und brannten 2 Stunden. Die Versuche 5 bis 7 wurden mit derselben Maschine bei Hintereinanderschaltung gemacht, in diesem Falle hatten die

Digitized by Google

Kerzen Kohlenstäbe von 3mm und brannten 1½ Stunden. Man hätte die Theilung des Lichtes noch weiter treiben können; allein beim Herabgehen auf 20 Brenner Lichtstärke verloren die Kerzen viel an ihrem regelmässigen Brennen. Die Versuche 8 bis 9 wurden mit einer kleinen Maschine angestellt, die von einer in ihrer Geschwindigkeit stark wechselnden Dampfmaschine getrieben wurde. Mehrere Kerzen erloschen während des Ganges; man konnte diesem Uebelstande dadurch abhelfen, dass man die Geschwindigkeit ein wenig erhöhte. Die Versuche 10 bis 13 wurden in der Werkstätte der *Société Jablochkoff* in Paris mit grossen Maschinen ausgeführt. Alle Versuche ergaben, dass die neue Maschine ein weit ruhigeres Licht als die Maschine vom Jahre 1878 gibt.

Versuchsnummer.	Minutliche Tourenzahl.	Kraftaufwand mk.	Anzahl der Kerzen.	Leuchtkraft jedes Lichtes in Carcel-Brennern.
1	1140	145	2	45
2	1200	204	4	47
3	1330	330	6	44
4	1400	380	8	42
5	1440	352	12	25
6	1350	310	8	38
7	1300	287	6	37,5
8	1300	334	6	50,2
9	1460	376	8	47,2
10	1000	—	16	48
11	1020	—	20	51
12	1200	—	25	31,5

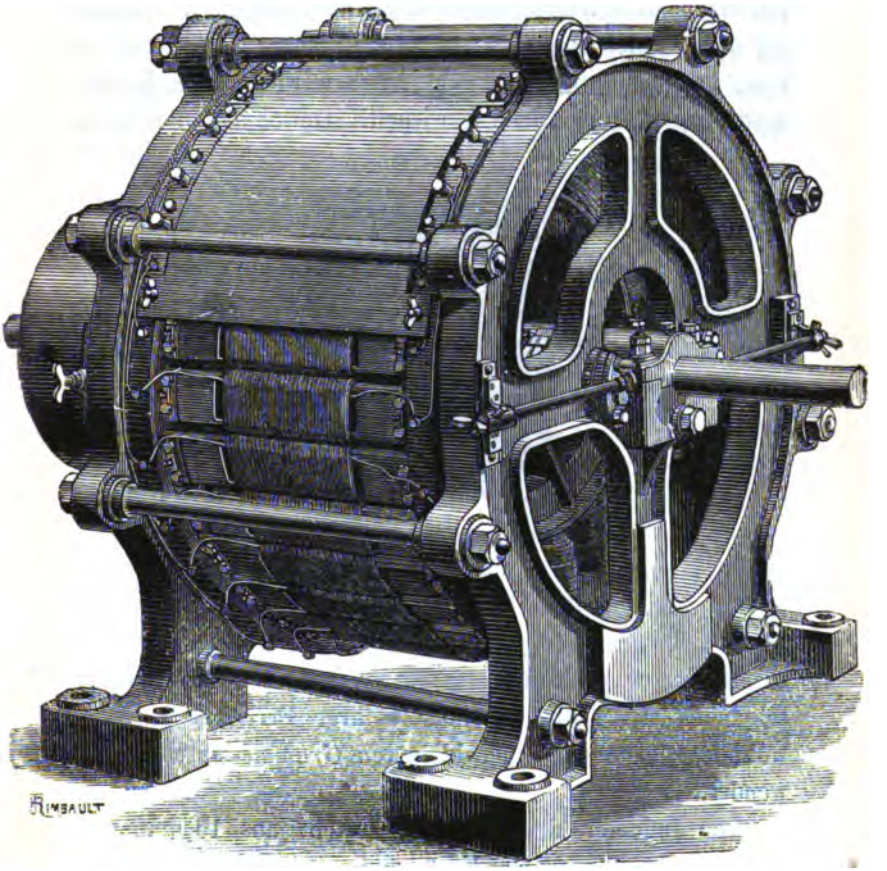
Vgl. Revue industrielle 1880, p. 53, oder auch *Dingler's* Pol. J. Bd. 237, p. 128, die bezüglichen Abbildungen (Grundriss, Vorderansicht, Seitenansicht, verschiedene Längsschnitte u. sonstige Schnitte).

70. Die Wechselstrom-Maschinen von Jablochkoff, deren Ansicht Figur 180 zeigt, unterscheiden sich von der Maschine von *Gramme* durch die eigenthümliche Form der Elektromagnete, welche in Fig. 181 abgebildet sind und aus acht, in

Digitized by Google

einer Schraubenlinie gebogenen und mit Draht bewickelten Eisenkernen bestehen.

Fig. 180.



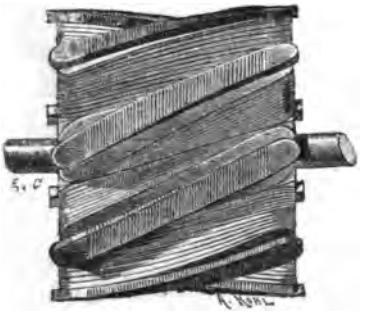
Die Wechselstrom-Maschine von Jablochkoff.

Da es Schwierigkeit machen würde, diese schraubenförmigen Magnete aus einem Stücke zu bilden, so sind sie zusammengesetzt aus einer Reihe von Eisenplatten, welche die Form eines Rades mit acht Speichen, aber ohne Kranz haben. Jede einzelne Scheibe ist 3 bis 4mm dick. Die erforderliche Anzahl derselben wird auf der Drehungs-

Digitized by Google

achse zusammengereiht und durch Bolzen zusammengepresst, nachdem jede Platte gegenüber der vorhergehenden etwas verdreht ist, um den spiralförmigen Raum zu bilden. Fig. 181 macht diese Zusammensetzung sehr deutlich. Es entsteht auf diese Weise eine treppenförmige Fläche, welche mit der Feile geebnet wird. Die acht Arme werden durch Kupferdraht von 3,7 mm Dicke bewickelt. Gewöhnlich liegen die

Fig. 181.



Der Elektromagnet der Maschine von Jablochkoff.

Arme 1, 3, 5, 7 in einem, die Arme 2, 4, 6, 8 in einem andern Stromkreise. Die Wicklung ist derart, dass die erste Gruppe einen nordmagnetischen Kamm, die andere einen südmagnetischen erhält und also die Polarität der auf einanderfolgenden Arme abwechselt. Zu ihrer Erregung wird gewöhnlich der Strom einer kleineren *Gramme*-Maschine verwendet.

Der Inductor der Maschine besteht aus 16 ganz getrennten Theilen. Der Kern eines jeden Theiles besteht aus Streifen von 1 mm dickem und durch Papierscheiben von einander getrenntem Eisenblech. Die erforderliche Anzahl solcher Streifen werden neben einander zusammengenietet und dann der Kern senkrecht zur Richtung der Streifen mit Kupferdraht bewickelt.

Die freien Enden des Drahtes sind an zwei auf dem Eisenkern befindlichen isolirten Schrauben befestigt. Die

Digitized by Google

sechszehn so gebildeten Theile werden auf zwei kupfernen Endplatten in einem Kreise gruppirt, wobei sie einen cylindrischen Hohlraum bilden, in welchem der vorher beschriebene eigenthümlich geformte Elektromagnet rotirt. Man sieht, dass der Draht der Inductortheile so gewickelt ist, dass sein Verlauf mit der Drehungsrichtung des Elektromagnets übereinstimmt. Dadurch ist besonders in mechanischer Beziehung der Betrieb der Maschine gesichert, da es unmöglich ist, dass der Draht bei rascher Rotation durch die Centrifugalkraft sich lösen kann; was als ein grosser Vortheil dieser Maschine zu betrachten ist. Die Dimensionen des Inductors sind so berechnet, dass ein jeder Theil derselben einen Strom liefern kann, der eine *Jablochkoff*'sche Kerze zu speisen im Stande ist. Jeder Theil enthält 44m Kupferdraht von 2mm Durchmesser mit 0,3 Ohm Widerstand. Eine Maschine mit 16 Theilen kann also 16 Kerzen unterhalten, es werden auch grössere Maschinen mit 32 Theilen für 32 Kerzen gebaut. Gewöhnlich werden die Drähte zu einer jeden Kerze direct von den Klemmschrauben eines jeden Inductortheiles weggeführt. Dadurch erreicht man, dass jede Flamme ganz unabhängig von der anderen brennt und ausgelöscht werden kann.

Man kann aber auch eben so gut eine beliebige Anzahl solcher Theile mit einander verbinden und den Strom gemeinsam wegführen.

Um die 16 *Jablochkoff*-Kerzen auf 60 Normalkerzen Lichtstärke zu bringen, muss die Maschine 750 Touren in der Minute machen und absorbirt dabei 14 Pferdestärken. Die ganze Maschine ist in einem gusseisernen Gestell befestigt, das 0,61m lang, 0,50m breit und 0,64m hoch ist. Das Gewicht der ganzen Maschine beträgt 350kg.

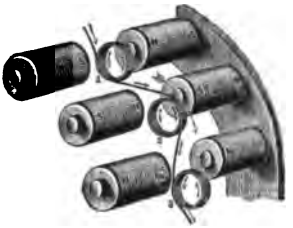
Den Höhepunct der Wechselstrom-Maschinen bildet gegenwärtig

71. Die Wechselstrom-Maschine von Siemens-Halske und

Digitized by Google

die auf ähnlichem Princip beruhenden Maschinen von *Gordon und Ferranti-Thomson*. Bei diesen Maschinen wird das elektromagnetische Feld erzeugt durch zwei Kränze von cylinderförmigen Elektromagneten mit Eisenkernen, welche auf zwei eisernen Gestellen so angeordnet sind, dass immer ein Elektromagnet auf dem einen Kranz gegenübersteht einem Elektromagnet aber von entgegengesetzter Polarität auf dem andern Kranz, ebenso haben die aufeinanderfolgenden Elektromagnete jeden Kranzes abwechselnd positive und negative Polarität. Zwischen den freien Polen ist Platz zur Bewegung des Inductors, welcher aus einer Reihe von Spulen besteht, deren

Fig. 182.



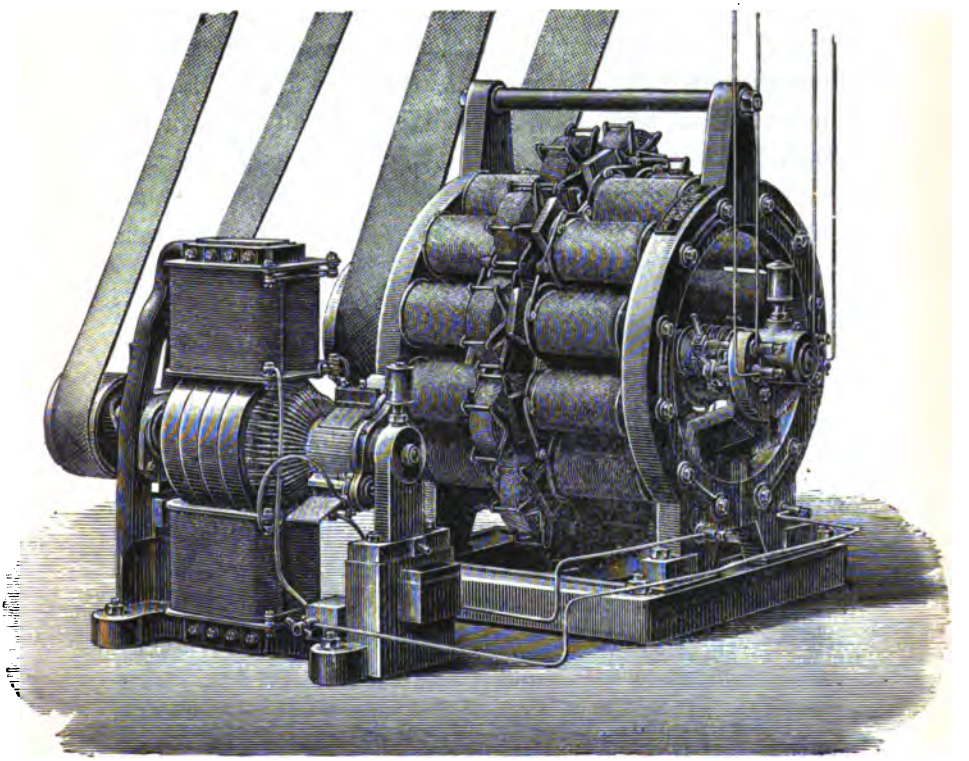
Prinzip der neuen Wechselstrom-Maschine.

Achse parallel der Achse der Elektromagnete ist. Diese sind gewöhnlich an einer Scheibe befestigt, durch deren Rotation die Spulen vor den Polen der Elektromagnete rasch vorbei bewegt werden, wobei die in §. 11 behandelte Induction entsteht. In Folge der entgegengesetzten Polarität der Elektromagnete entstehen bei Bewegung einer Spule vor den Polen vorbei in derselben abwechselnd positive und negative Strom-Impulse. In Folge dessen müssen auch die aufeinander folgenden Spulen, so wie es in der Figur angedeutet ist, verbunden werden, dass ein sie durchfliessender Strom der Reihe nach in entgegengesetztem Sinne durchgeleitet wird, damit nicht die Wirkung der einen durch die der anderen zerstört wird. Bei der neuen *Siemens*-Maschine, welche in Figur 183 abgebildet ist, sind die Inductorspulen auf Holz-

Digitized by Google

kerne aufgewickelt und enthalten gar kein Eisen, da wegen der grossen Intensität des magnetischen Feldes und dem raschen Polwechsel die *Foucault*'schen Ströme eine starke

Fig. 183.



Wechselstrom-Maschine von Siemens-Halske mit dynamo-elektrischem Stromerreger.

Erwärmung desselben und grossen Kraftverlust veranlassen würden. Bei den grossen Maschinen sind die Spulen durch ganz dünnes Neusilberblech abgeschlossen. Das letztere hat Löcher, um eine starke Luftcirculation zu erzeugen. Die bei der Rotation der Spulen in denselben entstehenden Strom-Impulse werden wie gewöhnlich direct nach aussen in die Lampen abgeführt einfach so, dass das Ende der letzten

Digitized by Google

Spule und der Anfang der ersten Spule von einander getrennt sind, während alle anderen Spulen, so wie in Fig. 182 angegeben, mit einander verbunden sind und eine continuirliche Leitung bilden. Diese beiden Enden führen zu zwei auf der Rotationsachse aufsitzenden, von einander isolirten metallenen Ringen. Die Ringe endlich stehen mit den Klemmen durch Schleiffedern in Verbindung, an welche die äussere Leitung angeschlossen wird. Auf diese Weise erhält man in der äusseren Leitung Wechselströme, welche in abwechselnd positivem und negativem Sinne fliessen und welche nicht geeignet sind, die Elektromagnete der Maschine zu erregen, da bei jedem neuen Impulse die Polarität derselben gewechselt würde. Die Maschine kann sich daher nicht selbst erregen, sondern ihre Elektromagnete müssen durch eine besondere Maschine, welche gleichgerichtete Ströme liefert, erregt werden. Hierzu benutzt man gewöhnlich eine kleinere *Siemens*-Maschine für continuirlichen Strom, welche wir S. 246 u. ff. besprochen haben. Die Fig. 183 zeigt, wie die Combination beider Maschinen bewerkstelligt wird. Früher wurde die Maschine so gebaut, dass sie sich selbst erregen konnte. Zu diesem Zwecke wurde der Strom eines Theils der Spulen zu einem Commutator, welcher auf der Rotationsachse angebracht war, geführt, und nachdem er dort gleichgerichtet wurde, dazu benutzt, um die Elektromagnete zu erregen. Doch wurde dieses Arrangement bald aufgegeben, da das andere vorhin beschriebene System mit einem besondern Erreger bessere Resultate liefert.

Da alle Inductorspulen gegenüber den Polen des magnetischen Feldes in derselben relativen Lage sind, so dass sie alle gleichzeitig dieselben erreichen und verlassen, so ist klar, dass sie zusammen verbunden werden können entweder nebeneinander oder hintereinander, je nachdem ein Strom von niedriger oder hoher Spannung erfordert wird. Ferner können mehrere Stromkreise unabhängig von derselben

Digitized by Google

Maschine gespeist werden. Die Inductorspulen müssen passend in ebenso viel Theile gesondert werden, als Kreise zu unterhalten sind; und Anfang und Ende jeder dieser Theile müssen wie oben beschrieben, mit Ringen auf der Rotationsachse in Verbindung gebracht werden, von wo dann der Strom weitergeführt wird. Die Maschine in Fig. 183 zeigt die Einrichtung für zwei Stromkreise. Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die Leistungsfähigkeit dieser Maschine und zugleich über die verschiedenen Grössen, in welchen sie gebaut werden.

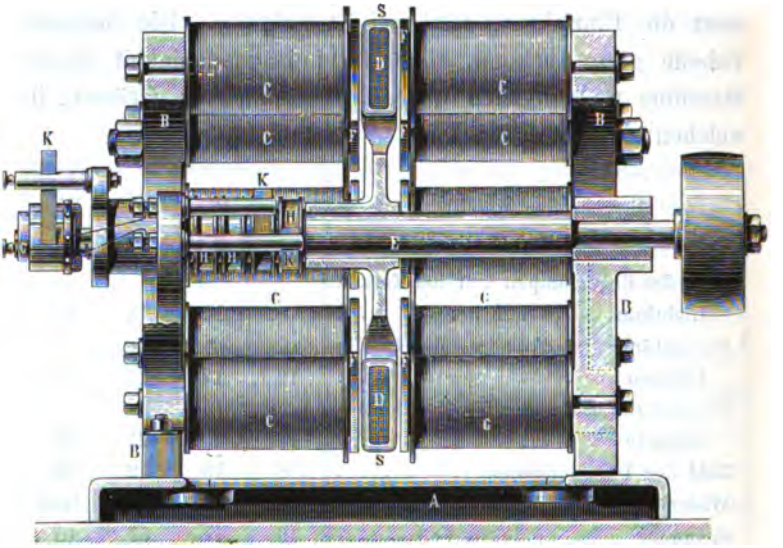
Nummer der Maschine.	W_8	W_6	W_2	W_1
Zahl der Bogenlampen von 400 Kerzen Lichtkraft	8	12	18	28
Stromstärke in Ampère durch die Lampen	12	12	12	12
Stromstärke in Ampère für die Elektromagnete	17	19	21	24
Zahl der Inductorspulen	8	10	12	16
Widerstand jeder Spule in Ohm	0,27	0,27	0,29	0,32
Spannung jeder Spule in Volt	40	47	57	67
Tourenzahl per Minute	800	700	650	630
Pferdestärken	$4\frac{1}{2}$—6	9	11	20

Eine eigenthümliche Form der neuesten Wechselstrom-Maschine von *Siemens & Halske* zeigt Fig. 184 und 185. Die Maschine besteht im Wesentlichen aus einer gusseisernen Bodenplatte *A* und zwei kreisförmigen verticalen Gestellen *B*, an welchen die acht Elektromagnete *C* angeordnet sind. Die Pole derselben bestehen aus weichen Eisenstücken *F* von keilförmiger Gestalt. Die Magnete sind so angeordnet, dass entgegengesetzte Pole einander gegenüberstehen, auch sind sie einander so viel als möglich genähert, um ein äusserst intensives Feld zwischen sich zu erzeugen. Der enge Raum zwischen denselben wird durch den Inductor

Digitized by Google

ausgefüllt. Die Construction desselben unterscheidet sich wesentlich von dem Inductor der vorhin beschriebenen Wechselstrom-Maschine von *Siemens & Halske*. Er besteht im Wesentlichen aus einem Eisenringe *D*, der aus einem Stück gebildet sein kann, gewöhnlich aber aus dünnen

Fig. 184.



Siemens-Halske's neueste dynamo-elektrische Maschine für gleichgerichtete und Wechselströme.

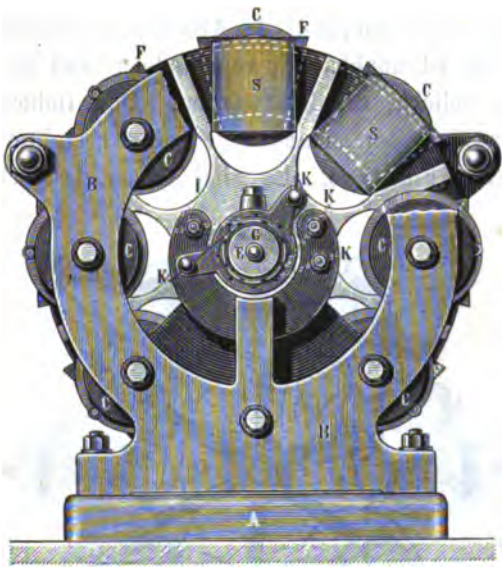
Platten oder Drähten zusammengesetzt wird. Der Ring trägt acht rechteckige Spulen, deren Windungen ihn radial umgeben, und welche in der Figur mit *S* bezeichnet sind. Dieser Ring ist mit einer auf der Drehachse sitzenden Scheibe *J* verbunden, welche acht radiale, den Ring zwischen den einzelnen Spulen haltende Arme hat.

Während bei der vorhin betrachteten Wechselstrom-Maschine von *Siemens & Halske* das Eisen im Inductor eine Nebenrolle spielt und bei den neueren Maschinen mit Vortheil ganz unterdrückt wird, ist bei dieser Maschine der eiserne Ring des Inductors das Wesentliche und würde sie ohne

Digitized by Google

denselben keinen Strom liefern können. Gewöhnlich werden die Elektromagnete hintereinander verbunden. Ihre Enden führen zu dem Collector *G*, welcher auf der Achse *E* ausserhalb der Maschine befestigt ist. Zwei Rollen *S* des Inductors werden dazu benutzt, um die Elektromagnete zu erregen.

Fig. 185.



Siemens-Halske's neueste dynamo-elektrische Maschine für gleichgerichtete und Wechselströme.

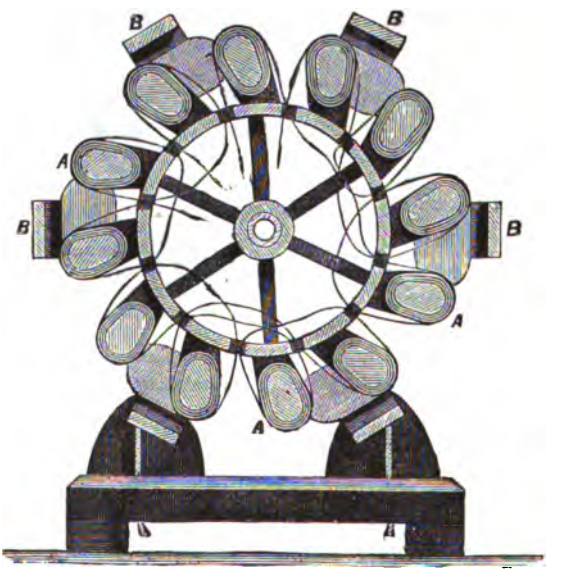
Die Strom-Impulse derselben müssen vorher an dem Collector *G* gleichgerichtet gemacht werden. Um den Strom der Maschine nach aussen zu führen, sind eine Reihe von isolirten Contactringen *H* auf der Achse *E* befestigt, welche mit den verschiedenen Ringen des Inductors in passender Verbindung stehen und auf welchen die Federn *K* schleifen. Diese letzteren werden mit den Leitungen zu den Lampen in Verbindung gesetzt. Denkt man sich die einzelnen Inductorspulen bei der grossen Wechselstrom-Maschine von

Digitized by Google

Siemens durch eine Mehrzahl solcher neben einander auf der Peripherie liegend ersetzt, so erhält man —

72. Die Maschine von Müller & Levett. Diese Maschine hat den Zweck, mehrere Ströme von verschiedener Intensität zu erzeugen, von denen einer dazu benutzt wird, um die Elektromagnete zu erregen. Ein anderer kann für Bogenbeleuchtung, ein dritter für Incandescenzbeleuchtung, ein letzter für galvanoplastische Arbeiten verwendet werden. Jeder Strom ist unabhängig vom andern und seine Intensität kann beliebig regulirt werden. Der Inductor rotirt zwischen zwei Reihen einander gegenübergestellter Elektromagnete *B*, Fig. 186. Es sind deren je sechs. Alle

Fig. 186.



Dynamo-Maschine von Müller u. Levett (America) zur Erzeugung mehrerer Ströme von verschiedener Intensität.

Elektromagnete sind hinter einander geschaltet. Der Inductorring enthält Spulen *A*, welche in Gruppen von je sechs vertheilt sind. Diese letztere Zahl stimmt überein mit der Zahl

Digitized by Google

der Elektromagnete. Es sind so viele Gruppen vorhanden, als verschiedene Ströme erzeugt werden sollen (in der Figur sind es zwei), und die Construction der Spulen ist dem zu liefernden Strom entsprechend. Da die aufeinander folgenden magnetischen Felder von wechselnder Polarität sind, so umwindet der Draht die einzelnen aufeinanderfolgenden Spulen derselben Gruppe in wechselnder Richtung. Die Enden der Drähte sind mit einem Commutator verbunden, der die entstehenden Wechselströme gleich gerichtet macht, und von wo sie durch zwei Bürsten in die äussere Leitung abgeführt werden. Natürlich sind so viele Commutatoren und Bürstenpaare vorhanden, als Gruppen von Spulen und Stromkreise.

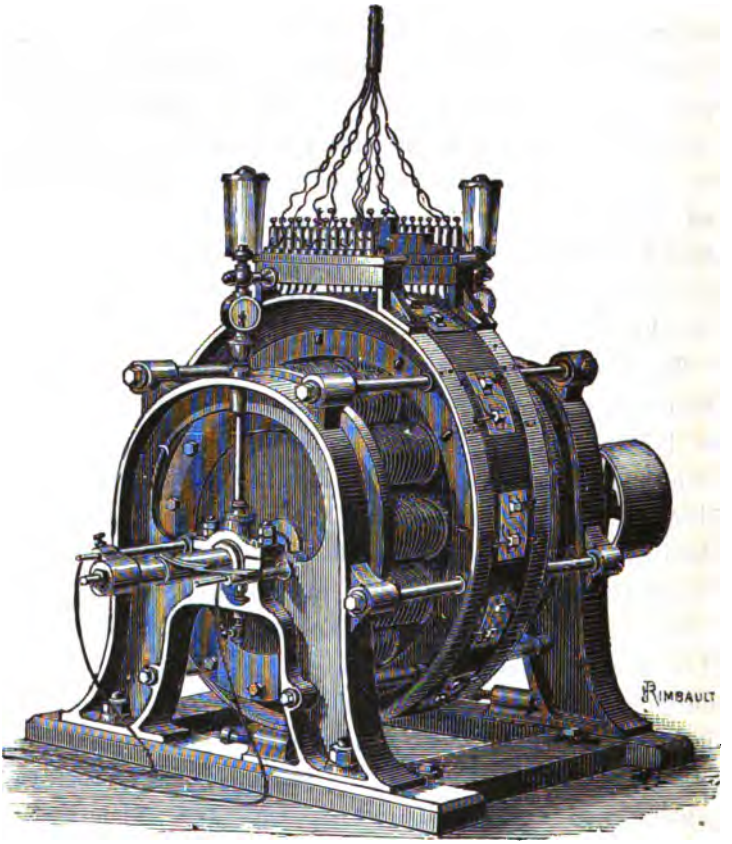
73. Die Maschine von Lachaussée ist in dem Punct wesentlich von der Maschine von *Siemens* verschieden, dass die beiden Kränze von Elektromagneten nicht fest sind, sondern rotiren, dass dagegen die Inductorspulen in der Mitte zwischen denselben fest sitzen. Diese haben eine elliptische, nicht runde Gestalt, der Kern ist aus ganz dünnem Eisenblech verfertigt; um eine zu starke Erwärmung zu verhüten, ist viel Sorgfalt auf die Ventilation verlegt. Die Spule ist in einen Holzklotz eingelassen, wie Fig. 188 zeigt. Dieser Holzklotz passt in eine Oeffnung in der Trommel, welche die Pole der beiden Elektromagnetkränze umschliesst. Die gewöhnliche Maschine enthält auf jedem Kranze 12 Elektromagnete und auch 12 Inductorspulen. Die freien Enden einer jeden der letzteren führen zu einem System von 24 Klemmen, das oben auf der Trommel befestigt ist und von wo aus die 12 Ströme der einzelnen Inductorspulen in beliebiger Combination abgeführt werden können.

Während, wie im Anfang dieses Capitels erwähnt, die Wechselstrom-Maschinen im Allgemeinen einen kleinern elektrischen Nutzeffect geben, als die Maschinen für continuirliche Ströme, scheinen sie den letzteren darin überlegen

Digitized by Google

zu sein, dass sie in jeder beliebigen Grösse gebaut werden können. Es ist noch nicht gelungen, die Maschinen für

Fig. 187.



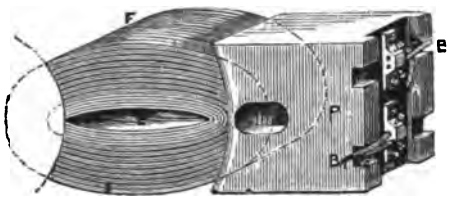
Die Wechselstrom-Maschine von Lachaussée.

continuirliche Ströme in ganz grossen Modellen auszuführen; die grossen Maschinen von Edison haben bis jetzt noch nicht ganz unbestrittene Triumphe gefeiert. Dagegen wurden in letzter Zeit Wechselstrom-Maschinen gebaut, aus denen man den Schluss zu ziehen sich berechtigt glaubt, dass Wechselstrom-Maschinen in jeder beliebigen Grösse gebaut werden

Digitized by Google

können. Die grösste bis jetzt gebaute Maschine überhaupt ist die

Fig. 188.



Eine Inductorspule der Maschine von Lachaussée.

74. Wechselstrom-Maschine von J. E. H. Gordon. Sie ist im Stande, 5000 bis 7000 Swan-Lichter, von je 20 Kerzen zu unterhalten. Sie wurde von der Telegraph Construction and Maintenance Company in Greenwich construirt, nach einem Modell, welches in noch viel grösserm Maassstabe ausgeführt werden kann. Dieser letztere Punct ist von sehr grosser Bedeutung und wird von den Erfindern zu oft übersehen. In einer kleinen Maschine können die Metalltheile des Inductors mit Ausnahme der Leitungsdrähte leicht so angeordnet werden, dass sie keine elektrisch oder magnetisch nachtheilige Wirkungen ausüben, ohne die mechanische Construction zu sehr zu schwächen. Aber eine elektrische Maschine, welche 600 bis 1000 Pferdekräfte absorbirt, muss in ihren rotirenden Theilen fest und solid gebaut sein. Es wäre schwierig, die nöthige Festigkeit zu erhalten, wenn für den Inductor kein anderes Metall verwendet werden dürfte als die Leitungsdrähte.

In der neuen Maschine von *Gordon* werden die inducirenden Elektromagnete bewegt, während die den Inductor bildenden Spulen fest bleiben. Dadurch wird der eine Nachtheil der Maschinen mit beweglichem Inductor beseitigt, welcher in der Schwierigkeit liegt, einen Commutator für Ströme von 1000 bis 10000 Ampère und noch mehr zu construiren.

Digitized by Google

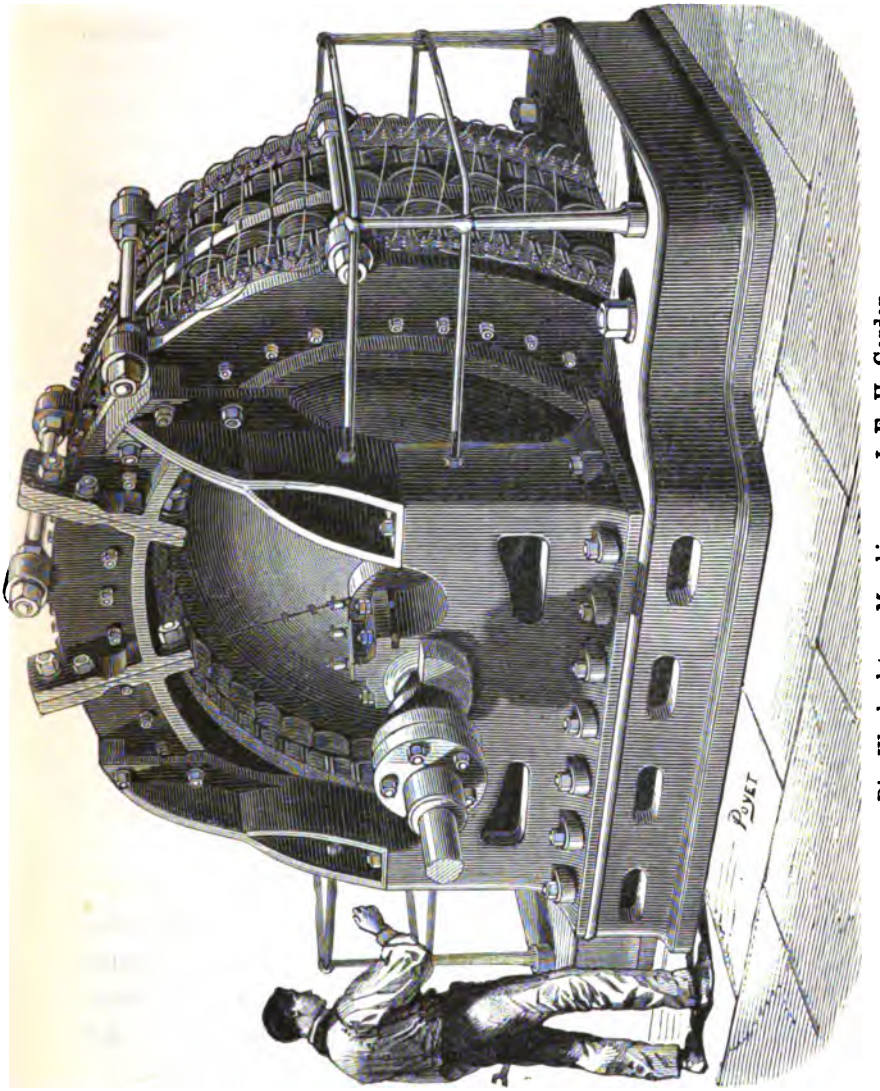
Die Maschine besitzt eine starke Rotationsachse, auf welcher neben einander zwei zusammengebohrte Scheiben *A* von Eisenkesselblech mit 2,67 m Durchmesser aufgekeilt sind; diese sind durch flache Kegel *B* von starkem Blech seitlich abgesteift. Der kräftige Bau des Lagers aus Phosphorbronze ist aus den Figuren 189, 190 und 191 ersichtlich. In der Fig. 190 geben wir die Seitenansicht mit dem halben Querschnitt der Maschine. Die Fig. 191 zeigt den Längenschnitt mit der äusserst soliden Auflagerung der Achsen.

Jede der grossen Scheiben trägt an ihrer Peripherie eine Reihe von 32 Elektromagneten, deren Pole abwechselnd nord- und südmagnetisch sind. Diese Magnete sind gebildet aus cylindrischen Kernen von Schmiedeeisen, welche die Scheiben durchsetzen, so dass die Magnete zu beiden Seiten der Scheiben denselben Kern haben. Sie tragen Messinghülsen mit der Drahtwicklung und keilförmige Polstücke aus Kesselblech; die Spulen werden mit Neusilberblech bedeckt. Das letztere vereinigt grosse Steifheit mit hohem Widerstand gegen die Circulation inducirter Ströme. Der auf die Spulen gewickelte Draht hat 4,70 mm Durchmesser, ist mit doppeltem Ueberzug von mit Schellack getränkter Baumwolle versehen und mit Asbestfarbe angestrichen. Gegen die eisernen Scheiben sind die Spulen durch hölzerne Zwischenlagen isolirt.

Der so construirte bewegliche Theil dreht sich in einem Abstand von 3mm zwischen zwei parallelen Reihen von festen Spulen. Diese sind von einem gusseisernen Rahmen getragen, welcher aus drei Theilen zusammengesetzt ist, von denen der eine kleiner als die beiden übrigen. Der kleinere Theil kann weggenommen werden, um die Auswechslung eines schadhaften Magnets zu ermöglichen. Die Rotationswelle wird dann so lange bewegt, bis der betreffende Magnet in Sicht kommt. Es sind im Ganzen 128 feste

Digitized by Google

Fig. 189.

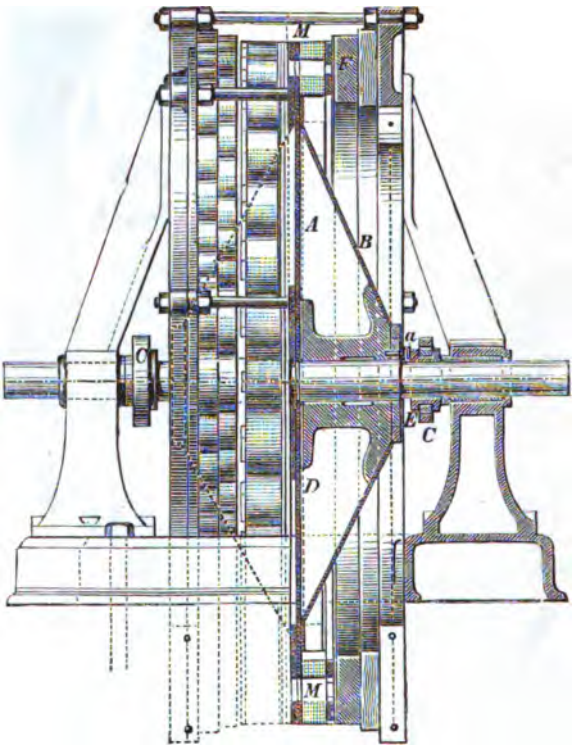


Die Wechselstrom-Maschine von J. E. H. Gordon.

Digitized by Google

Spulen vorhanden, 64 auf jeder Seite, und dieselben werden inducirt durch 32 Elektromagnete. Die Anzahl der

Fig. 190.



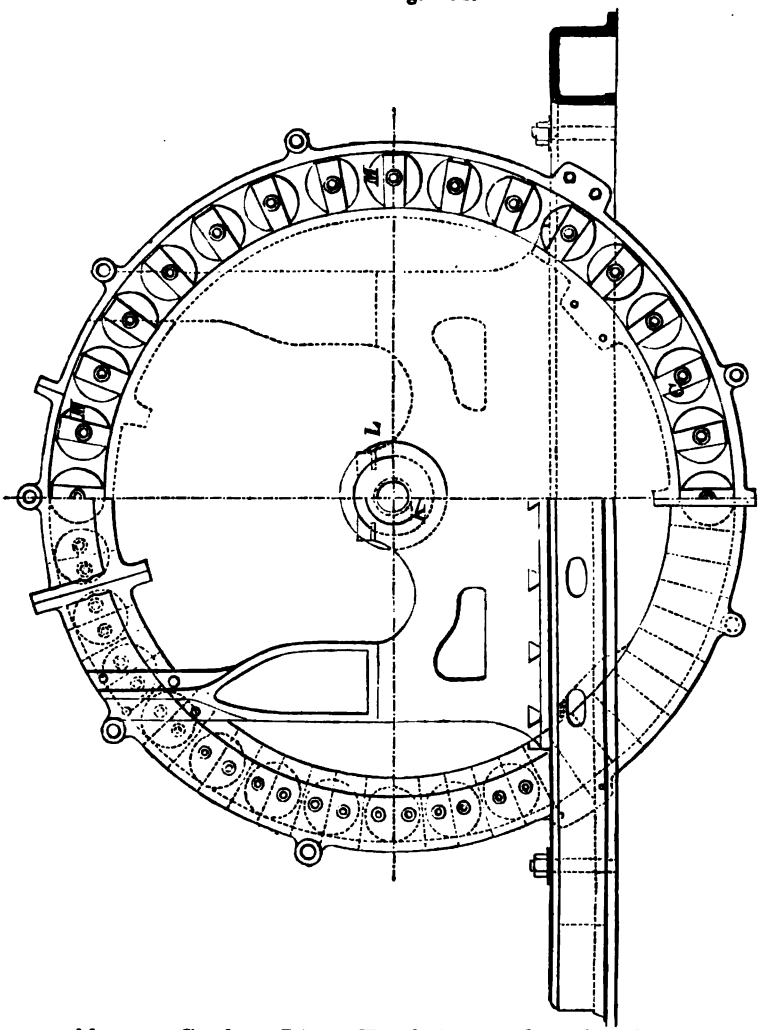
Seitenansicht der Maschine Gordon.

festen Spulen ist die doppelte der beweglichen Magnete. Wenn die Maschine die gleiche Anzahl Inductionen, Spulen und Magnete hätte, so würde die Induction der einen Spule auf die nächste so stark sein, dass die Wirksamkeit der Maschine dadurch erheblich reducirt würde. Die erste Maschine, die gebaut wurde, enthielt gleich viel Spulen wie Magnete, und es hat sich gezeigt, dass, wenn eine gewisse Anzahl von Lampen durch eine Spule unterhalten worden,

Digitized by Google

der Schluss der Leitung der einen der benachbarten Spulen das Licht der Lampen um 25% reducirt hatte, und um weitere 25% reducirt wurde durch Schluss der anderen be-

Fig. 191.



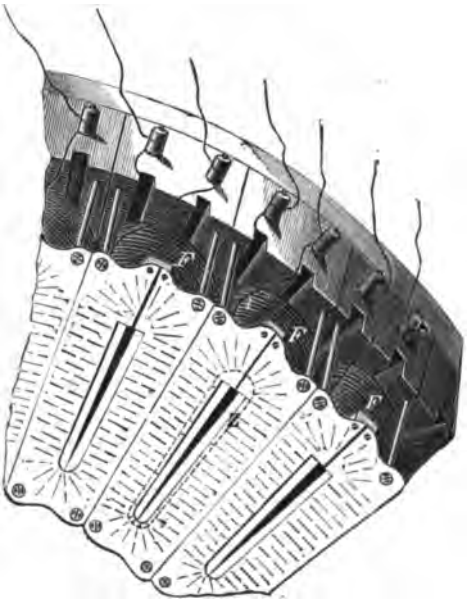
Längenschnitt der Maschine Gordon.

nachbarten Spule. Diese Erscheinung hat in der gegenseitigen Induction der Spulen auf einander bei dem raschen Stromwechsel ihren Grund.

Digitized by Google

Um diese nachtheilige Wirkung zu beseitigen, hat *Gordon* die Zahl der Elektromagnete auf die Hälfte reducirt und dadurch eine schädliche Induction fast ganz beseitigt. Die Inductorspulen sind in zwei Gruppen getheilt, und zwar bilden die Spulenpaare 1, 3, 5, 7 u. s. w. auf beiden Kränzen zusammen einen Stromkreis und ebenso die Paare 2, 4, 6, 8 u. s. w. Diese beiden Kreise können entweder jeder für sich benutzt oder, zu einem Stromkreis vereinigt, entweder parallel oder hinter einander geschaltet werden. Die einzelnen Inductorspulen sind mit Kupferdraht von

Fig. 192.



Theil des Inductors der grossen Maschine von Gordon.

4,57 mm Durchmesser gewickelt. Der Widerstand der einzelnen Spule beträgt 0,6 Ohm, und es kann durch Parallelschaltung aller 128 Spulen der innere Widerstand der ganzen Maschine auf 0,00047 Ohm erniedrigt werden.

Fig. 190 zeigt ein Stück des Ringes mit den Inductor-

Digitized by Google

spulen. Um Raum zu sparen, sind die Kerne der Spulen keilförmig gestaltet, mit der Spitze der Welle zugekehrt. Sie werden aus einem Blech von Schmiedeeisen gebildet, das *V* förmig zusammengebogen wird. Die Kante bildet das keilförmige Ende des Kernes. In der Mitte des Keiles wird ein T Eisen angeschweisst, das dem Kerne Festigkeit gibt, das aber zugleich rückwärts verlängert ist und am gusseisernen Ringe des Gestells festgeschraubt wird. Zwischen dem Kern und dem Ringe ist ein Holzblock von 75 mm Dicke eingeschoben; es werden dadurch die Spulen magnetisch vom Gestell der Maschine isolirt, ein Umstand, auf welchen der Erfinder grosses Gewicht legt. Die dem rotirenden Rade *A* zugekehrte Seite dieser Spulen ist mit Neusilberblech zugedeckt. Dasselbe ist auf einem Fortsatze *F* des Eisenkernes befestigt, ausserdem mit dem Holzblock verschraubt. Das Blech dient zum Schutz der Spulen, zugleich auch zur Ventilation, indem es eine ganze Reihe Oeffnungen trägt, welche in der Figur nur angedeutet sind. Die Enden der Drahtwindungen auf jeder Spule sind mit zwei Klemmschrauben verbunden, welche auf dem Holzblock aufsitzen, so dass jede Spule für sich oder in beliebiger Combination mit anderen Spulen verwendet werden kann.

Die Elektromagnete der Maschine werden durch eine besondere *Bürgin*-Maschine erregt. Der Strom wird den hinter einander verbundenen Elektromagneten durch zwei Contaktringe *C*, welche zu beiden Seiten des grossen Rades *A B* durch Vulkanit von der Welle isolirt aufgesetzt sind, zugeführt.

Ueber die Wirkungsweise der Maschine berichtet der „Engineering“ vom 9. März 1883 gelegentlich der Besprechung der elektrischen Ausstellung im Aquarium zu London Folgendes:

„Die erregende *Bürgin*-Dynamomaschine wird durch eine kleine 5pferdige Dampfmaschine getrieben und liefert einen

Digitized by Google

Strom von 25 Ampère. Die grosse Dampfmaschine, welche die Wechselstrom-Maschine treibt, lieferte am Tage des Versuches (17. Januar) nach Ausweis des durch einen *Richards*'schen Indicator genommenen Diagramms 170 indicirte Pferdestärken, so dass der Gesammtbedarf an mechanischer Arbeitskraft sich auf 175 Pferdestärken englisch belief. Die Klemmenspannung der Maschine betrug 103 Volt; es brannten 1400 Swan-Lampen von je 30 Ohm Widerstand (warm) in zwei Stromkreisen und es waren immer je zwei Lampen hinter einander geschaltet. Der Gesammtwiderstand der Lampen betrug hiernach 0,085 Ohm. Der Widerstand der Leitung war 0,006 Ohm und der innere Widerstand der Maschine 0,0075 Ohm, so dass der Gesammtwiderstand 0,0985 oder rund 0,1 Ohm war. Da die Klemmenspannung der Maschine 103 Volt betrug, so war die Stromstärke $\frac{103}{0,1} = 1030$ Ampère.

In dem Photometerraume zeigten die Lampen eine Leuchtkraft von 22 bis 23 Kerzen; mithin wurde im Ganzen $1400 \times 22^1/_2 = 31,500$ Kerzen für 175 indicirte Pferdestärken, d. h. etwa 180 Kerzen für jede Pferdestärke, erhalten.

Die elektrische Arbeit betrug $J \times E = 103 \times 1030 = 106090$ Volt-Ampère, also lieferte jede indicirte Pferdestärke $\frac{106090}{75} = 606$ Volt-Ampère.

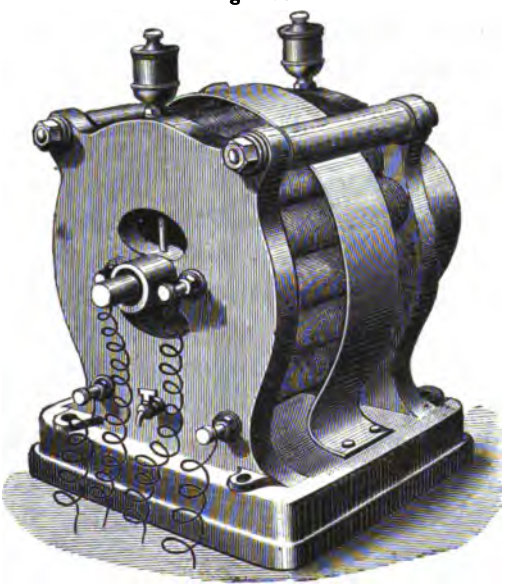
Da schliesslich eine elektrische Pferdekraft (engl.) = 746 Volt-Ampère, so war der Nutzeffekt $\frac{606}{746} = 0,816$. Wohlverstanden, gibt diese Zahl das Verhältniss der durch die Wechselstrom-Maschine erzeugten elektrischen und der im Cylinder der Dampfmaschine indicirten mechanischen Arbeit. Würde man die von der Dampfmaschine auf die Wechsel-

Digitized by Google

strom-Maschine wirklich übertragene Arbeit in Betracht ziehen, so würde sich der Nutzeffect um etwa 10% erhöhen."

75. Die Wechselstrom-Maschine von Ferranti-Thomson hat einige Aehnlichkeit mit derjenigen von *Siemens*. Die Erzeugung des magnetischen Feldes erfolgt ebenso wie dort durch zwei Kränze fester Elektromagnete, welche so angeordnet sind, dass jedem Nordpol ein Südpol zur Seite und gegenüber liegt. Fig. 193 zeigt die Ansicht dieser Maschine und lässt die genannte Aehnlichkeit sehr gut hervortreten. Die Verschiedenheit liegt in der Armatur, welche nicht wie bei *Siemens* aus Drahtrollen besteht, sondern

Fig. 193.

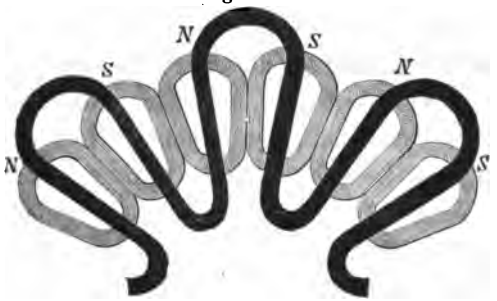


Die dynamo-elektrische Maschine von Ferranti-Thomson.

aus zickzackförmig gebogenen Kupferstreifen, welche in 12 Schichten aufeinander gelegt und durch Kautschukzwischenlagen von einander isolirt sind. Diese Kupferstreifen, welche hier die Stelle der sonst gebräuchlichen Drahtwicklungen einnehmen, haben eine Breite von 12,5 mm und eine Dicke

Digitized by Google

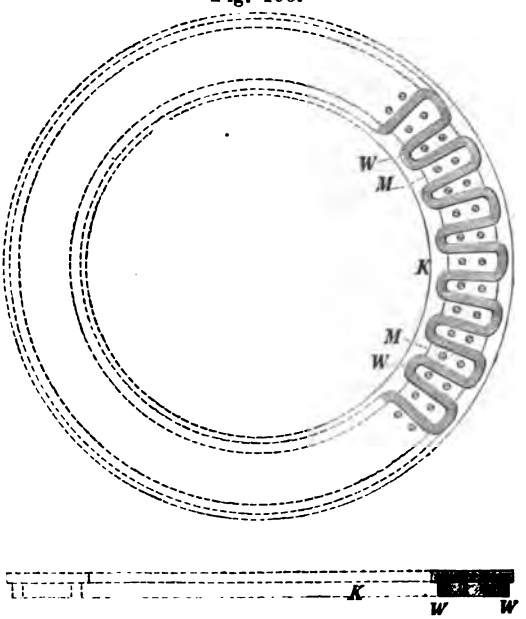
Fig. 194.



Die Ferranti-Thomson-Maschine, schematisch.

von 2mm. Sie sind zuweilen auf einen Holzrahmen aufgewunden. Fig. 194 stellt eine andere Befestigungsweise der Bänder auf der Armatur dar, welche von *W. Thomson* angegeben worden ist[1]). *K* ist ein Ring von Eisen,

Fig. 195.



Der Inductor der Ferranti-Thomson-Maschine.

1) English patents Dec. 1881. 5668.

Digitized by Google

welcher mit den Vorsprüngen *M* versehen ist. Um diese legen sich die Bänder *W* in der angedeuteten Weise, der Zwischenraum zwischen den einzelnen radialen Stücken dieser Bänder ist also mit Eisen ausgefüllt, welches durch den Einfluss der Elektromagnete magnetisch wird und hiedurch die Inductionswirkung verstärkt. Wie aus der schematischen Fig. 195 zu ersehen ist, haben die radialen Stücke der Bänder gleichen Abstand wie die Magnetpole. Wenn sich nun bei der Rotation das eine Stück einem Nordpol nähert, so rücken die beiden benachbarten Stücke um gleichviel gegen einen Südpol vor. Es entstehen daher in dem letztern Ströme von entgegengesetzter Richtung wie in dem erstern, welche aber in Folge der Windungsform des Bandes sich zu einem einzigen Strom zusammensetzen. Dreht sich der Inductor um die Grösse des Abstandes zweier Magnetpole weiter, so ist die Polarität des magnetischen Feldes die entgegengesetzte und in Folge dessen auch die Richtung der inducirten Ströme umgekehrt. Die Maschine liefert daher Wechselströme, welche durch zwei Schleiffedern von zwei Contactringen auf der Achse nach aussen abgeführt werden. „Engineering" berichtet über die Leistung der auf der elektrischen Ausstellung im Aquarium zu London ausgestellten Maschine Folgendes:

„Die Maschine ist in einem Annex unter dem Schwimmbassin aufgestellt und speist 320 Swan-Lampen, welche das Bassin und die Speisegallerie erleuchten. Sie macht 1900 Umdrehungen in der Minute und wird durch zwei achtzöllige Riemen getrieben, welche mit einer Geschwindigkeit von 6000 Fuss in der Minute laufen. Trotz dieser grossen Geschwindigkeit werden die Lampen aber nicht hinreichend gespeist; sie brennen sichtbar röthlicher als die Gasflammen in demselben Raume. Es ist vorläufig nicht möglich, anzugeben, wie viel Arbeit die Maschine verbraucht, aber der blosse Augenschein lehrt, dass diese bei Weitem mehr beträgt

Digitized by Google

als die 32 Pferdekräfte, welche die Lampen verlangen. Jeder Riemen würde mässig geschätzt etwa 50 Pferdestärken übertragen können und der Contrast zwischen dem Umfange der Transmission und dem erzeugten Lichte ist sehr auffällig. Die Maschine selbst ist zu klein, um viel Arbeit ohne schädliche Erhitzung aufnehmen zu können. Ein erheblicher Betrag der absorbirten Energie findet sich in dem enormen Volumen stark erhitzter Luft, das von der Armatur von allen Seiten ausgeworfen wird. Es ist natürlich, dass jede Dynamo-Maschine einen beträchtlichen Windzug verursacht, doch sahen wir kaum jemals eine, welche einen so heftigen und nur annähernd so heissen Luftstrom erzeugte wie diese."

Mit diesem Bericht contrastirt eigenthümlich das grosse Lob, welches der Maschine gespendet wurde, als sie unter den Auspicien ihrer Erfinder Sir *W. Thomson*, Prof. *S. P. Thompson* und *Ferranti* auf den Markt gebracht wurde. Es scheint, dass bei dieser Maschine die Grenze der praktisch zuträglichen Geschwindigkeiten überschritten ist, so dass trotz der richtigen theoretischen Construction kein praktischer Erfolg erzielt wird.

Die publicirten elektrischen Ausmessungen sind folgende:

Widerstand des Inductors	0,0265	Ohm
Widerstand des Lampenkreises....	0,7735	Ohm
Spannung an den Polklemmen	125	Volt
Stromstärke	156	Ampère
Zahl der betriebenen Swan-Lampen..	300	
Tourenzahl	1900	
Kraftverbrauch	28	Pferdekräfte
Gewicht des Inductors	5 120 kg	
per Lampe	0,016	

Wie aus dem citirten Bericht des „Engineering" hervorgeht, ist hier der Kraftverbrauch viel zu niedrig angegeben.

Digitized by Google

Am interessantesten ist die letzte Zahl, wonach bloss 16gr Gewicht des Inductors auf eine Swan-Lampe entfallen. Dieses kleine Gewicht ist mit einem sehr intensiven magnetischen Kraftfeld, das nun seinerseits desto mehr Draht beansprucht, erkauft. Nach einer Angabe der „Electrical Review wiegt die Drahtmenge auf der ganzen *Ferranti*-Maschine für 300 Lampen 290lbs = 131kg, auf der ganzen *Gordon*-Maschine für 7000 Lampen dagegen 5 876lbs = 2 438kg. Es kommen somit auf eine Swan-Lampe bei der *Ferranti*-Maschine 437gr, bei der *Gordon*-Maschine bloss 348gr Draht.

Dagegen wiegt die *Gordon*-Maschine 18,3 Tonnen = 18 300kg, die *Ferranti*-Maschine nur 5 970kg; bei der ersteren kommen auf eine Swan-Lampe 2,6kg, bei der letzteren bloss 1,98kg.

Die grossen Maschinen erfordern also viel weniger elektrisch wirksames Material als die kleinen, ihr grösseres Gewicht entsteht aus Gründen der mechanischen Festigkeit.

76. Die Maschine von Elphinstone-Vincent. Auf der Ausstellung im Crystallpalast zu London hat die Maschine von *Elphinstone-Vincent* einiges Aufsehen erregt. Der Inductor ist ein *Gramme*'scher Ring (eine hohle Trommel). Der Kern desselben enthält aber kein Eisen, sondern ist aus Papiermaché hergestellt; auch die Wicklung desselben ist eigenthümlich.

Das magnetische Feld ist wie bei der *Gülcher*-Maschine ein zusammengesetztes. Es sind sechs Nordpole und sechs Südpole, welche an der Peripherie des Ringes miteinander abwechseln. Sie werden durch Elektromagnete gebildet, welche radial zum Ring auswärts stehen und dadurch der Maschine ein eigenthümliches Ansehen verleihen. Die Elek-

1) Electrical Review, 1882, Dec. 2, p. 426.

Digitized by Google

tromagnete sind paarweise mit einander verbunden. Aber wie bei der Maschine von *Jürgensen* wird das magnetische Feld noch verstärkt durch innere Elektromagnete. Auf einer Spindel sitzen innerhalb des Ringes weitere zwölf Elektromagnete, welche den äusseren gegenüberstehen und von gleicher Polarität wie jene sind. So entsteht ein sehr intensives magnetisches Feld, in welchem der *Gramme*'sche Ring (die hohle Trommel) rotirt. Aus der Wirkungsweise desselben ist leicht zu ersehen, dass sechs Bürsten angebracht werden müssen, um den erzeugten Strom aufzunehmen.

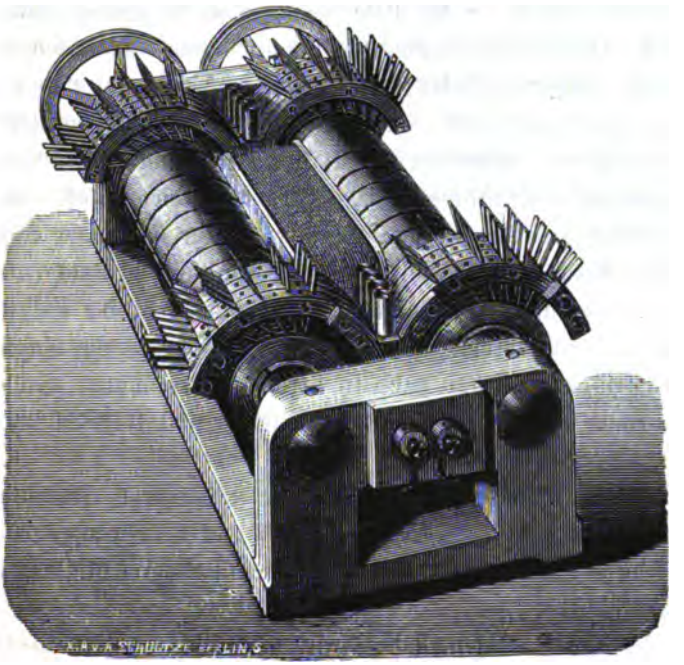
Die Erfinder behaupten, dass die Maschine einen sehr hohen Nutzeffekt gebe und dass sie in jeder beliebigen Grösse gebaut werden könne. Was den letztern Punct anbetrifft, so sind Versuche hierüber jedenfalls vorerst noch abzuwarten; die Maschine birgt gewisse constructive Schwierigkeiten in sich, welche in der soliden Befestigung des rotirenden Ringes mit Verzichtung auf den innern cylindrischen Raum liegt, da letzterer von den Elektromagneten in Anspruch genommen wird. Die Wirkung einer Maschine ist im grossen Ganzen proportional dem Gewichte des Kupfers, welches die Wicklung der Armatur bildet und muss desshalb bei der Construktion von grossen Maschinen hierauf besondere Rücksicht genommen werden. Dann sind auch die vielen Bürsten am Collector nicht gerade eine Empfehlung für diese Maschine. In diesem Puncte sind die Wechselstrom-Maschinen von *Gordon*, welche gar keine Bürsten haben, sondern den Strom aus der Armatur in die Leitung direct abfliessen lassen, im grossen Vorsprung vor allen übrigen.

77. **Die unipolare Maschine.** Die erste Maschine, welche mit Recht dynamo-elektrische Maschine genannt werden darf, war eine unipolare Maschine. Bis jetzt hat dieselbe sehr wenig Antheil an der Entwicklung der dynamo-elektrischen Maschinen genommen und tritt erst in neuerer Zeit wieder

Digitized by Google

etwas mehr in den Vordergrund. *Faraday* zeigte im Jahre 1831, dass in einer Kupferscheibe, welche mit einer mechanischen Kraft zwischen den Polen eines Elektromagnets gedreht wird, ein continuirlicher elektrischer Strom entsteht. Aber *Faraday* blieb hiebei nicht stehen.[1]) Er zeigte, dass derselbe Effect auch erhalten wurde, wenn statt der permanenten Magnete Elektromagnete verwendet wurden. Die

Fig. 196.



Unipolare Maschine von Siemens & Halske.

Form der dynamo-elektrischen Maschine von *Faraday* ist aus verschiedenen Gründen unpraktisch und es wurde desshalb dieselbe lange Zeit nicht beachtet. Erst ganz in neuerer Zeit ist es *Siemens & Halske* gelungen, eine uni-

1) „Experimental Researches" §. 83.

Digitized by Google

polare Maschine zu construiren, welche Aussicht auf technische Verwendung hat. Dieselbe ist in Fig. 196 abgebildet. Die Maschine enthält zwei Kupfercylinder, welche longitudinal geschlitzt sind, um schädliche Ströme zu vermeiden und innen und aussen von magnetischen Flächen umgeben sind. Die inneren Flächen werden gebildet durch die Schenkel eines U-förmigen Elektromagnets. Ein zweiter Elektromagnet ist zwischen die beiden rotirenden Kupfercylinder placirt. Seine Pole besitzen bogenförmige Ansatzstücke, welche die Kupfercylinder von oben und unten umfassen. Jeder Cylinder rotirt daher zwischen einer inneren und einer äusseren Magnetfläche von entgegengesetzter Polarität und schneidet bei seiner Bewegung immer mehr magnetische Kraftlinien. Die Ströme, welche von dieser Maschine geliefert werden, sind von sehr niedriger Spannung, etwa 4 bis 5 Volt, dagegen von sehr grosser Intensität. Sie sind desshalb hauptsächlich geeignet für galvanoplastische Arbeiten. Wie schon erwähnt, sind die Kupfercylinder ihrer Länge nach in Streifen zerschnitten und die einzelnen Streifen mittelst Schleifringen und Bürsten hinter einander geschaltet.

Andere Constructionen solcher unipolarer Maschinen wurden von *Varley*[1]), *E. L. Voice*[2]) und *Ball*[3]) angegeben, welche aber bis jetzt noch keine technische Wichtigkeit erlangt haben.

Im Vorstehenden haben wir fast alle wichtigeren Maschinen besprochen. Für unsere Auswahl sind folgende Gesichtspuncte massgebend gewesen: grosses historisches oder theoretisches Interesse des Princips, oder ausgedehnte technische Verwendung der Maschine. Wir haben eine

1) English Patents 1882. Specification 2207.
2) English Patents 1882. Specification 1794.
3) United States of Amerika Patent office Nr. 259,791.

Digitized by Google

grosse Reihe von Maschinen nicht berücksichtigen können, von denen aber viele nur durch die Patentschriften bekannt geworden sind.

Auf der Pariser Elektricitäts-Ausstellung war die Maschine des ebenerwähnten Amerikaners *Ball* ausgestellt. Sie ist eine Modification der Wechselstrom-Maschine von *Siemens-Halske*. Die ebenfalls dort ausgestellte Maschine von *Andrew* benutzt die Trommelarmatur zur Erzeugung von Wechselströmen. Der Collector ist durch einen Commutator ersetzt. Diese Idee kann man nicht gerade glücklich nennen.

Im folgenden Abschnitte werden wir unter anderem auch eine Classificirung der Maschinen vornehmen und es wird sich dort zeigen, dass das scheinbare Chaos der verschiedenen Maschinen in wenige Grundtypen geschieden werden kann.

Digitized by Google

VII. Abtheilung.

Theorie der dynamo-elektrischen Maschinen.

Die Wirkungsweise der dynamo-elektrischen Maschinen ist von sehr vielen Umständen abhängig, und es ist unmöglich, a priori genau den Effect einer solchen Maschine vorauszusehen. Es sind desshalb alle Theorien zu verwerfen, welche nur auf analytischen Betrachtungen beruhen und die nicht entweder direct mit der Erfahrung verglichen sind oder auf Resultaten der Beobachtung an Maschinen beruhen. Es sind nun zwar schon viele Messungen an dynamo-elektrischen Maschinen gemacht worden[1]); dieselben bezogen sich aber gewöhnlich nur auf das dem Versuche speciell unterworfene Object, und es war unmöglich, zu unterscheiden, was nur Individualität der betreffenden Maschine und was allgemeine Eigenschaften waren, welche allen Maschinen zukamen. Es wurde desshalb der Wissenschaft ein grosser Dienst geleistet, als *Dr. O. Frölich* es unternahm, im Etablissement von *Siemens & Halske* durch eine ausgedehnte Reihe von Versuchen an vielen Maschinen und mit Variirung aller Nebenumstände diejenigen Thatsachen festzustellen,

1) Meyer & Auerbach Wiedemanns Annal. VIII p. 494; Herwig am gl. Ort VII p. 193; Schwendler am gl. Ort Beiblätter III p. 823. Hopkinson Proceedings of the meeting of the institution of mechanical engineers. London 1879.

Digitized by Google

welche für eine Theorie der dynamo-elektrischen Maschinen zu wissen nöthig sind. Diese Versuche, welche für das Verständniss und die Theorie dieser Maschinen unentbehrlich und grundlegend geworden sind, wurden im Sommer 1880 ausgeführt und sind unter andern Orten in der Elektrotechnischen Zeitschrift publicirt.[1]) Die Theorie, welche *Frölich* auf die Resultate derselben gründete, wurde seither allgemein anerkannt, und werden wir im Folgenden die Hauptpuncte derselben hervorheben. Neben *Frölich* hat auch *Marcel Deprez* eine ausführliche Theorie entworfen. Anfänglich schien es, als ob die letztere von der von *Frölich* wesentlich abweiche, aus den neueren Publicationen geht jedoch hervor, dass *Deprez* dieselbe ebenfalls anerkennt. Er wählt bloss eine etwas andere Form, welche für seine Zwecke vielleicht geeigneter ist. *Deprez* hat seine Theorie hauptsächlich mit Rücksicht auf die elektrische Krafttransmission ausgebildet, und wir werden daher auch dieser Theorie unsere Aufmerksamkeit an geeigneter Stelle schenken, während wir zunächst die Theorie von *Frölich* zu besprechen beabsichtigen.

78. Gleichung des dynamo-elektrischen Gleichgewichts. „Wenn man das *Ohm*'sche Gesetz auf den Strom einer mit äusserm Widerstand verbundenen Magnetmaschine (Maschine mit permanenten Magneten) anwendet, so erhält man

$$(1.) \qquad J = \frac{nMv}{W};$$

hier bezeichnet J die Stromstärke (Intensität), v die Tourenzahl, W den Gesammtwiderstand des Stromkreises, n die Anzahl der Windungen auf dem Anker und M eine Grösse, welche *Frölich* als das Verhältniss der elektromotorischen Kraft zur Tourenzahl definirt und als den „wirksamen Magnetismus" bezeichnet. Diese letztere Grösse ist die

1) Elektrotechnische Zeitschrift 1881 p. 134 u. ff.

Digitized by Google

Summe der elektromotorischen Kräfte, welche die permanenten Magnete und das Eisen des Ankers auf eine Windung des letzteren bei der Tourenzahl Eins ausüben.

Dieselbe Gleichung gilt auch für die dynamo-elektrische Maschine; nur tritt bei dieser die Beziehung hinzu, dass dieselbe ihre Magnete selbst erzeugt, oder dass

$$M = f(J), \tag{2.}$$

während bei der Magnetmaschine M eine beinahe constante Grösse ist.

Die Gleichung (1) ist zugleich diejenige des dynamo-elektrischen Gleichgewichts; denn beim „Angehen" der Maschine, d. h. beim Ansteigen des Stromes vor der Erreichung des stationären Zustandes, ist der vom augenblicklich vorhandenen Magnetismus erzeugte Strom $\frac{nMv}{W}$ stets grösser als der zum Aufrechterhalten jenes Magnetismus nöthige Strom, und beide Stromgrössen werden erst gleich im stationären Zustand oder im dynamo-elektrischen Gleichgewicht.

Die Gleichung (1) geschrieben in der Form:

$$\frac{J}{nM} = \frac{J}{f(J)} = \frac{v}{W}$$

enthält den wichtigen Satz, dass die Stromstärke nur eine Function des Verhältnisses der Tourenzahl zum Gesammtwiderstand ist. Dieser Satz gilt für sämmtliche dynamo-elektrische Maschinen und für eine beliebige Stellung des Commutators und bildet daher die Grundgleichung für die Theorie dieser Maschinen.

Die Gleichung (1) gibt auch Aufschluss über die individuelle Leistungsfähigkeit der einzelnen Maschine.

Die einzige Grösse, welche die Individualität einer Maschine kennzeichnet und welche zu deren Kennzeichnung auch ausreicht, ist das Product des wirksamen Magnetismus M mit der Windungszahl n des Ankers. Ist diese letztere

Digitized by Google

Zahl gegeben und der wirksame Magnetismus als Function der Stromstärke für eine bestimmte Maschine und bestimmte Commutatorstellungen bekannt, so lässt sich stets die Stromstärke aus Tourenzahl und Gesammtwiderstand berechnen.

Gleichung (1) zeigt aber auch, welche Form diese Function haben muss, um die Maschine möglichst leistungsfähig zu machen.

Wäre der wirksame Magnetismus einfach proportional der Stromstärke, so hätte Gleichung (1) keinen Sinn mehr; es gibt in diesem Falle im Allgemeinen keinen stationären Zustand mehr, der Strom würde ins Unendliche anwachsen. Es tritt also nur dynamo-elektrisches Gleichgewicht ein, wenn der Magnetismus von der Proportionalität mit der Stromstärke abweicht, was in Wirklichkeit stets der Fall ist.

Setzen wir $nM = cJ - \varphi(J)$, wo $\varphi(J)$ diese Abweichung vorstellt, so gibt Gleichung (1):

$$\frac{v}{W} = \frac{1}{c - \frac{\varphi(J)}{J}};$$

hieraus folgt, dass für eine bestimmte Stromstärke die Tourenzahl um so kleiner wird, je kleiner die Abweichung des Magnetismus von der Proportionalität ist. Eine dynamo-elektrische Maschine ist also um so vollkommener, je näher der wirksame Magnetismus der Proportionalität mit der Stromstärke kommt.

79. Prüfung der Gleichgewichtsgleichung. An einer dynamo-elektrischen Maschine der grössten Sorte von *Siemens & Halske* (Modellbezeichnung D_0) wurden ausgedehnte Versuche über die Gültigkeit der Hauptgleichung angestellt, indem Tourenzahl und Widerstand in möglichst weiten Grenzen variirt und die zugehörigen Stromstärken gemessen wurden.

Die Strommessung geschah an einem Elektrodynamometer, wie es in Art. 19, S. 70, beschrieben ist. Die

Digitized by Google

Strommessungen sind in der Einheit $\frac{Daniell}{S.E.}$ ausgedrückt, indem das *Daniell* mit *Kohlrausch* als diejenige elektromotorische Kraft definirt wird, welche in 1 S. E. einen Strom erzeugt, der in der Stunde 1,38 g Kupfer niederschlägt.

Die Maschine wurde nach einander in drei verschiedenen Wicklungen geprüft, deren Daten nachstehend folgen:

Wicklung.	Schenkel.			Anker.		Gesammt-Widerstand der Maschine.
	Mittlerer Abstand der Windungen vom Eisen.	Anzahl der Windungen.	Widerstand.	Anzahl der Windungen	Widerstand.	
	r	m	s	n	a	$a+s$
	mm		*E*		*E*	*E*
I.	10,5	456	0,290	288	0,145	0,435
II.	21	856	0,580	288	0,145	0,725
III.	14	1960	4,14	1296	3,00	7,14

Der äussere Widerstand bestand aus einem mit Unterabtheilungen versehenen System von Flacheisen, welches frei in der Luft ausgespannt war und auch durch die hier auftretenden starken Ströme verhältnissmässig wenig erwärmt wurde; der jeweilen eingeschaltete äussere Widerstand wurde nach jeder einzelnen Messung bestimmt.

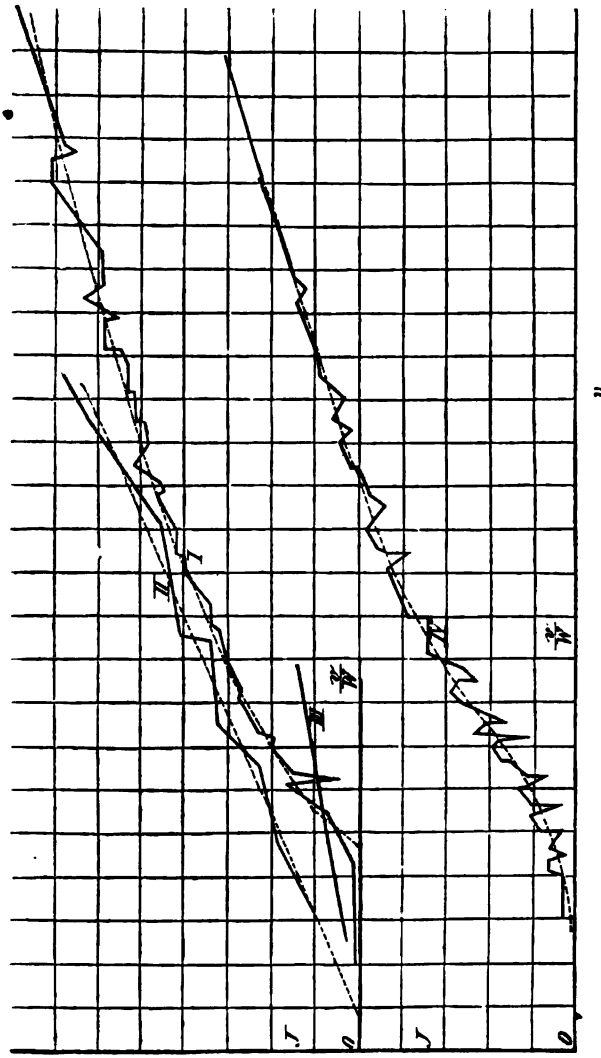
Die Stellung der Bürsten am Commutator konnte beliebig verändert werden; sie wurde bei jedem Versuche so gewählt, dass der Strom ein Maximum war.

Die Fig. 197 enthält dieselben Versuche graphisch aufgetragen und zwar J als Function von $\frac{v}{W}$. In Curve III sind die Werthe von $\frac{v}{W}$ in zehnfach grösserm Maassstabe aufgetragen.

Aus den Versuchen ergibt sich, dass im Wesentlichen die

Digitized by Google

Fig. 197. Fig. 198.



Curven, welche J als Function von $\frac{v}{W}$ darstellen.

Stromstärke nur eine Function des Verhältnisses $\frac{v}{W}$ ist; wären v und W Variable, welche beide unabhängig von einander die Stromstärke beeinflussen, so liessen sich die Strom-

Digitized by Google

stärken nicht mehr durch eine einzelne Curve darstellen; die Darstellung durch eine einzelne Curve genügt aber offenbar den Beobachtungen, und die Abweichungen derselben von dieser Curve tragen den Charakter von Versuchsfehlern.

Streng richtig ist dies jedoch nicht. Wäre J nur eine Function von $\frac{v}{W}$, so müsste, wenn für eine bestimmte Collectorstellung und bestimmte Werthe von v und W eine bestimmte Stromstärke auftritt, dieselbe sich nicht verändern, wenn Tourenzahl und Gesammtwiderstand in demselben Verhältnisse verändert werden. Dies ist nicht genau der Fall, sondern man muss, wenn v und W beide gleichmässig vergrössert werden, den Collector ein wenig im Sinne der Drehung des Ankers drehen, um dieselbe Stromstärke zu erhalten wie vorher. Diese Erscheinung jedoch, welche auf eine Verschleppung des Magnetismus des Ankers durch die Drehung deutet, ist praktisch von wenig erheblichem Einfluss; wir lassen dieselbe daher im Folgenden unberücksichtigt, obschon bei den Versuchen bei der Einstellung des Collectors stets darauf Rücksicht genommen wurde.

80. **Folgerung aus der Grundgleichung.** Durch die eben erwähnten Versuche ist festgestellt, dass die Stromstärke einer dynamo-elektrischen Maschine nur von dem Verhältniss der Geschwindigkeit zum Widerstand abhängt und dadurch die Grundgleichung

$$J = F\left(n \frac{v}{W}\right)$$

als richtig erwiesen. Dieses Abhängigkeitsverhältniss gibt uns die Stromcurve, und sobald wir diese experimentell bestimmt haben, können wir alle Fragen, welche in Bezug auf die Maschine gestellt werden können, beantworten. Diese Fragen können sich beziehen auf Stromstärke, elektro-

Digitized by Google

motorische Kraft, wirksamen Magnetismus, Geschwindigkeit und Widerstand. Zwischen diesen fünf Grössen bestehen aber drei Gleichungen:

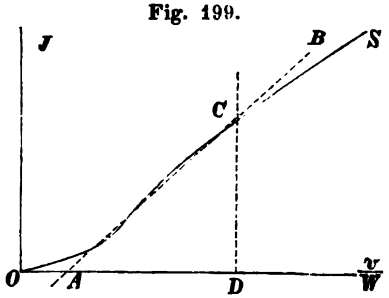
Das *Ohm*'sche Gesetz: $E = J.\ W.$

Die Stromcurve: $J = F\,(n\,\frac{v}{W})$.

Der wirksame Magnetismus: $M = \frac{1}{n}\,\frac{E}{v}$.

Wenn also zwei von den fünf Grössen gegeben sind, so lassen sich die übrigen drei hieraus bestimmen, und es ist dadurch die Theorie der dynamo-elektrischen Maschinen vollständig erledigt. Es ist nun aber für die Praxis wenigstens sehr zeitraubend, oft ganz unmöglich, die Stromcurve

Fig. 199.



Stromcurve von Frölich.

zu bestimmen, da hiefür eine Reihe von Versuchen mit möglichst verschiedener Geschwindigkeit anzustellen ist. Aber es ist nur nöthig, die Maschine innerhalb der Grenzen zu kennen, welche im Betrieb vorkommen. Die Stromstärken nun, welche fast ausschliesslich Verwendung finden, haben mittlere Werthe, sind nicht ganz schwach, noch beanspruchen sie die Maschine auf ihr Maximum.

Es ist nun äusserst wichtig, dass die Stromcurve in diesem Gebiete wenig von einer Geraden abweicht, wie Figur 199 für eine *Siemens*-Maschine zeigt, und diese Eigenschaft der Stromcurve gibt das Mittel, die Theorie wesent-

Digitized by Google

lich zu vereinfachen. Diese vereinfachte Theorie ist dann natürlich nur noch gültig innerhalb jenes beschränkten Gebietes für die mittleren Stromstärken.

Wir ersetzen also die Stromcurve durch eine gerade Linie; dann ist innerhalb jener Grenzen die Stromstärke eine lineare Function von

$$n \frac{v}{W}, \text{ also } J = \frac{1}{b}\left(n \frac{v}{W} - a\right),$$

worin a und b Constante sind, welchen eine bestimmte Bedeutung zukommt. Es bedeutet nämlich a die Anzahl der todten Touren; so lange die Tourenzahl v so klein ist, dass $\frac{n\,v}{W}$ nicht grösser als a ist, geht die Maschine nicht an. Dieses hat darin seinen Grund, dass bei der so kleinen Tourenzahl die erzeugte Stromstärke J noch nicht einmal so stark ist, um den Elektromagneten einen Magnetismus zu ertheilen, der den remanenten Magnetismus an Stärke übertrifft. In Fig. 199 stelle $O\,S$ die Stromcurve dar und $A\,B$ die Gerade, welche jene innerhalb der genannten Grenzen ersetzt; dann ist $O\,A = a$. Für b behält man

$$b = \frac{\frac{n\,v}{W} - a}{J}$$

und bestimmt es folgendermaassen: man bestimmt für irgend eine Stromstärke J den zugehörigen Werth von $\frac{n\,v}{W}$; dann kann man, da a schon bekannt ist, b berechnen und kennt dadurch nun auch die Lage der geraden Linie $A\,B$ und hiermit die ganze Beschaffenheit der Maschine.

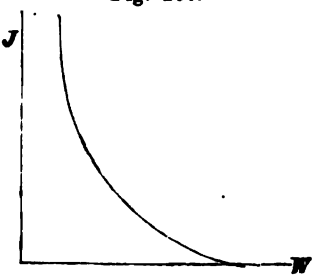
Untersuchen wir vorerst die Veränderung der Stromstärke, wenn die Tourenzahl constant bleibt und der Widerstand im Stromkreis sich ändert. Diese Abhängigkeit wird dargestellt durch die Figur 200. Die Curve ist ein Hyperbelzweig und zeigt, dass mit kleinen Aenderungen des Wider-

Digitized by Google

standes grosse Aenderungen der Stromstärke verbunden sind. Die Curve schneidet die Achse, auf welcher die Widerstände abgetragen werden, in einem Puncte, für welchen

$$W = \frac{a}{n\ v}$$

Fig. 200.



Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand.

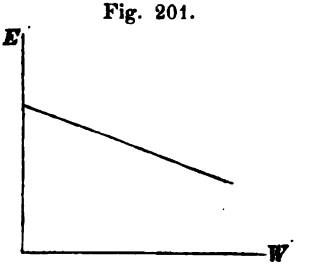
und zeigt dadurch, dass es bei jeder Rotationsgeschwindigkeit einen äussern Widerstand gibt, bei dem die Maschine nicht mehr angeht.

Die elektromotorische Kraft E ist unter denselben Umständen eine lineare Function von W; es ist nämlich, da

$$E = J\ W$$

$$E = \frac{1}{b}\ (n\ v - a\ W).$$

Fig. 201.



Abhängigkeit der Spannung vom Widerstande.

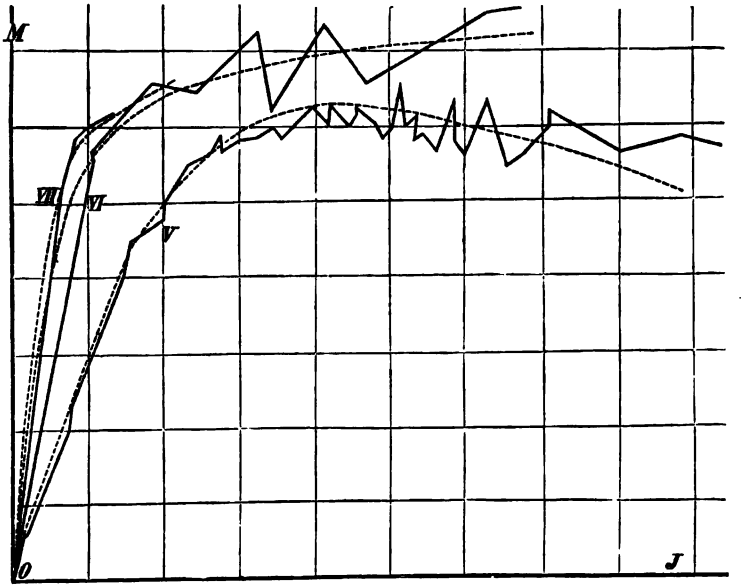
Diese Linie ist in Figur 201 angedeutet.

Viel complicirter ist die Abhängigkeit des wirksamen Magnetismus von der Stromstärke.

Digitized by Google

81. Der wirksame Magnetismus. Die Abhängigkeit des wirksamen Magnetismus von der Stromstärke wird durch die Curven V, VI, VII, Fig. 202, bezw. für die Wicklungen I, II, III dargestellt (wirksamer Magnetismus Ordinate, Stromstärke Abscisse). Diese Abhängigkeit ist im Allgemeinen dadurch charakterisirt, dass zu Anfang der wirksame Magnetismus proportional der Stromstärke ist, dann aber immer mehr von der Proportionalität abweicht und asymptotisch in ein Maximum übergeht. Für noch stärkere Ströme muss der Magnetismus sogar allmählich von diesem Maximum herabsinken; denn wenn die Schenkel bis zum Maximum magnetisirt sind, muss die Einwirkung

Fig. 202.



Die Abhängigkeit des wirksamen Magnetismus von der Stromstärke.

des Stromes auf den Magnetismus des Ankers, welche in Verdrehung und Schwächung besteht, immer noch zunehmen, der ganze „wirksame Magnetismus“ also abnehmen; indessen findet dies nur für Stromstärken statt, welche die in der

Digitized by Google

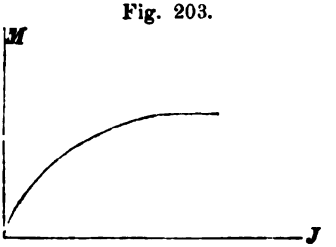
Praxis vorkommenden weit übersteigen. Wenn wir uns daher auf die Darstellung der praktischen Verhältnisse beschränken, können wir annehmen, dass der wirksame Magnetismus schliesslich ein constantes Maximum erreicht.

Wir erhalten dann eine Curve von der Form Fig. 203. Das stimmt nun auch mit unserer Hauptgleichung. Aus derselben ergibt sich

$$M = \frac{1}{n} J \frac{W}{v} \text{ und durch Elimination von } \frac{v}{W}$$

$$M = \frac{J}{a + b \cdot J}$$

Fig. 203.



Abhängigkeit des Magnetismus von der Stromstärke.

Dies ist wieder, wenn M und J als Variable betrachtet werden, die Gleichung eines Hyperbel-Astes, wie ihn die Figur 203 zeigt. Die Gleichung gibt uns auch noch eine andere Bedeutung von a und b. Wenn J sehr klein ist, dass a viel grösser ist als b J, dann wird nahezu

$$a = \frac{J}{M},$$

a ist aber das Verhältniss des Stromes zum wirksamen Magnetismus für ganz schwache Ströme. Ist umgekehrt J sehr gross, so dass a viel kleiner ist als b J, dann wird

$$\frac{1}{b} = M.$$

Es bedeutet $\frac{1}{b}$ den Grenzwerth des wirksamen Magnetismus für ganz starke Ströme, d. h. das Maximum des Magnetismus. Diese Bedeutungen dienen aber nur für die

Digitized by Google

Anschauung, da ja unsere Theorie weder für die ganz schwachen noch für die ganz starken Ströme gilt.

Die oben gegebenen, für den wirksamen Magnetismus gefundenen Curven zeigen nun, dass das für die Leistungsfähigkeit der Maschinen so schädliche Maximum bei den oben genannten Constructionen doch verhältnissmässig früh eintritt, und es handelt sich darum, die Ursache dieses frühen Eintrittes klarzulegen.

Es ist zu vermuthen, dass diese Ursache namentlich in der magnetisirenden Einwirkung des Stromes in den Ankerdrähten liege. Denn diese Einwirkung wirkt der von den Schenkeln ausgehenden magnetisirenden Kraft entgegen, und es wird in Folge dessen sowohl die magnetische Achse des Ankers gedreht, als die stromerzeugende Kraft desselben geschwächt, im Ganzen also der wirksame Magnetismus verringert; es muss daher das Maximum dieses letztern früher eintreten, als es ohne diese Einwirkung der Fall wäre.

Um die beiden gegen einander wirkenden Ursachen des wirksamen Magnetismus, die magnetisirende Kraft der Schenkelwicklung und diejenige der Ankerdrähte, zu trennen, wurde der Strom einer zweiten Dynamomaschine durch die Schenkelwicklung geschickt, der durch hohen Widerstand geschlossene Anker gedreht und die an seinen Polen auftretende Potentialdifferenz mittelst des Torsions-Galvanometers (s. S. 76) gemessen. Der Collector wurde wieder auf das Maximum der Spannungsdifferenz eingestellt und gelangte dadurch beinahe in die demselben zukommende natürliche Lage, d. h. in die Ebene, welche durch die beiden in keinem magnetischen Felde befindlichen Stellen des Ankers geht. Den wirksamen Magnetismus erhielt man, indem man die elektromotorische Kraft oder Potentialdifferenz an den Polen durch die Tourenzahl und die Windungszahl des Ankers dividirte.

Digitized by Google

Diese Versuche, für alle Wicklungen der Schenkel durchgeführt, lieferten Resultate, welche sich durch die Interpolationsformel

$$M = \frac{J}{a + b\,J}$$

mit durchaus genügender Genauigkeit darstellen lassen.

Wir stellen sie nachstehend zusammen, indem wir den wirksamen Magnetismus mit Strom im Anker mit M, denjenigen ohne Strom im Anker mit M' bezeichnen.

Bei Wicklung I ist für M zuerst eine Interpolationsformel gegeben, welche den wirksamen Magnetismus im ganzen Verlaufe richtig darstellt, mit Ausnahme des Anfanges, der für praktische Zwecke nicht in Betracht kommt.

Wicklung I.

$$M = \frac{J}{26\,600 + 367\,J + 14{,}3\,J^2};$$

für $20 < J < 50$:

$$M = \frac{J}{8070 + 1440\,J},$$

$$M_{max} = 0{,}000\,694;$$

$$M' = \frac{J}{14\,400 + 1040\,J},$$

$$M'_{max} = 0{,}000\,962.$$

Wicklung II.

$$M = \frac{J}{5180 + 1310\,J},$$

$$M_{max} = 0{,}000\,763;$$

$$M' = \frac{J}{9100 + 1010\,J},$$

$$M'_{max} = 0{,}000\,990.$$

Wicklung III.

$$M = \frac{J}{3200 + 1380\,J},$$

$$M_{max} = 0{,}000\,725;$$

Digitized by Google

$$M' = \frac{J}{5100+930\,J},$$

$$M'_{max} = 0{,}001\,080.$$

Hieraus geht deutlich hervor, wie stark die Einwirkung des Stromes im Anker das Maximum herabdrückt, nämlich bei allen Wicklungen um etwa 1/4 des Werthes. Die das Maximum bestimmenden Coëfficienten b bei den verschiedenen Wicklungen sind wenig verschieden; die Coëfficienten a dagegen, deren reciproke Werthe einen Ausdruck für die „Kraft der Wicklung" bilden, zeigen bedeutende Unterschiede.

82. Vergleichung der dynamo-elektrischen und magnet-elektrischen Maschinen. Der Hauptvorzug der Dynamomaschinen gegenüber den Magnetmaschinen beruht in dem kräftigen Magnetismus der ersteren. Man kann annehmen, dass bei einer Magnetmaschine das vierfache Gewicht von Eisen aufgewendet werden muss, um dasselbe magnetische Feld zu erzeugen, wie bei einer Dynamomaschine. In Folge davon sind die letzteren kleiner, billiger und einfacher zu construiren. Diesem Vortheil stehen aber auch Nachtheile gegenüber. Während nämlich der Magnetismus der Dynamomaschine beständig durch den Strom erhalten werden muss, und während des Ganges fortwährend Arbeitskraft absorbirt, ist dies bei Magnetmaschinen nicht der Fall. Um einen bestimmten Strom in einem gegebenen äussern Widerstande zu erzeugen, verbraucht die Dynamomaschine daher mehr Arbeit als die Magnetmaschine.

Ein anderer Unterschied ist der:

Bei der Magnetmaschine ist die Stromstärke

$$J = \frac{v}{W}\, n\, M.$$

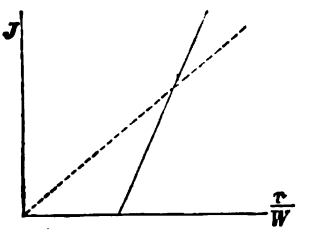
Bei den Dynamomaschinen

$$J = \frac{1}{b}\left(\frac{v}{W}\, n - a\right).$$

Digitized by Google

Zeichnet man also die Stromcurve für beide Maschinen, indem man J als Ordinate, $\frac{v}{W}$ als Abscisse aufträgt, so erhält man für die Magnetmaschinen eine geneigte, vom Nullpunct ausgehende gerade Linie, für die Dynamomaschine zwar auch eine gerade Linie, welche aber von einem bestimmten Puncte der Abscissenachse ausgeht und die erste Gerade in einem gewissen Punkte schneidet. Hieraus kann man schliessen, dass es für beide Maschinen eine Geschwindigkeit gibt, bei der sie gleichen Strom liefern. Aber der Strom der Dynamomaschine wächst schneller. In der Fig. 204 entspricht die ausgezogene Linie der Dynamomaschine, die punctirte der Magnetmaschine.

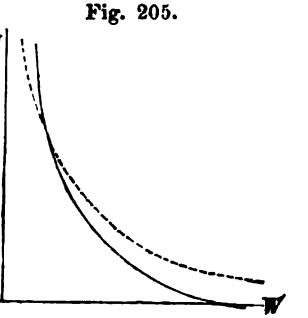
Fig. 204.



Abhängigkeit der Stromstärke von Tourenzahl und Widerstand.

Betrachtet man nur J und W als variabel, so erhält man beide Mal gleichseitige Hyperbeln, die sich wieder in dem Puncte schneiden, wo beide Maschinen gleiche Stromstärke liefern. Die Curve der Dynamomaschine schneidet die Abscissenachse wieder in einem bestimmten Puncte, der durch die todten Touren bestimmt ist, während die andere Curve das nicht thut, sondern sich asymptotisch der Abscissenachse nähert.

Fig. 205.



Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand.

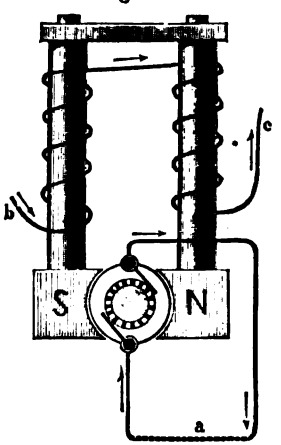
Hieraus ersieht man, dass der ganze Unterschied beider Maschinen in den todten Touren der Dynamomaschine beruht. Könnte man diese beseitigen, so würden die Curven sich immer mehr einander nähern; je grösser aber ihre Zahl wird, um so mehr gehen die Curven auseinander. Diese todten Touren

Digitized by Google

bewirken, dass der Strom der Dynamomaschine gegen Veränderungen im Widerstand und in der Geschwindigkeit viel empfindlicher ist, als derjenige der Magnetmaschine. Diese Eigenschaft ist vortheilhaft, um den Strom möglichst zu steigern, wirkt aber nachtheilig, wenn die Geschwindigkeit kleiner oder der Widerstand grösser wird. Bei den praktischen Verwendungen der Elektricität kann man nie ganz vermeiden, dass das eine oder andere eintritt, und man ist von jeher darauf bedacht gewesen, diese Eigenschaften zu modificiren oder zu unterdrücken.

Man verbindet die Vortheile beider Maschinen, nämlich die starken Elektromagnete und das von der Hauptleitung unabhängige magnetische Feld, d. h. Unterdrückung der todten Touren, wenn man die Elektromagnete nicht in die Hauptleitung einschaltet, sondern durch eine andere kleinere Maschine in einem unabhängigen Kreise (*b c*, Fig. 206) erregt, wie dies bei den grossen Wechselstrommaschinen von *Siemens*, *Gordon* und anderen geschieht. Diese Anordnung hat den Nachtheil, dass zwei besondere Maschinen nöthig sind, um einen einzigen nutzbaren Strom zu erzeugen. Man erreicht einen ähnlichen Effect durch die Anordnung, welche *Wheatstone* zuerst angegeben hat und die darin besteht, die Elektromagnete nicht in die Hauptleitung direkt einzuschalten, sondern in eine Nebenleitung (*b d c*), wie dies Figur 207 zeigt. Zur Erregung der Elektromagnete ist gewöhnlich ein Strom nöthig, der nur einige Procente vom ganzen Strom der Hauptleitung *a* beträgt. Die Windungen der Elektromagnete bestehen aus

Fig. 206.

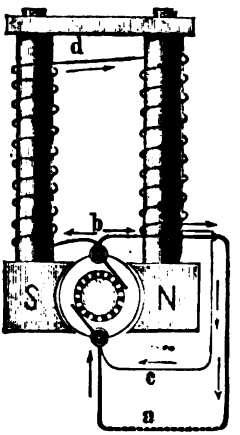


Maschine mit selbstständigem Erreger.

Digitized by Google

langem dünnen Drahte mit viel Widerstand und die Stromschwankungen in der Hauptleitung haben daher gewöhnlich fast gar keinen Einfluss. Dagegen wird die Anzahl der todten Touren gesteigert. Dieses Arrangement ist z. B. bei der neueren *Brush*-Maschine, den *Edison*- und *Gülcher*-Maschinen angewendet.

Fig. 207.



Maschine nach Wheatstone.

Nachdem wir im Vorhergehenden die wichtigsten Puncte der Theorie von *Frölich* kennen gelernt haben, wenden wir uns jetzt zu der Theorie von *Marcel Deprez*. Die Theorie von *Frölich* benutzt als Grundlage die sogenannte Stromcurve, welche den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Rotationsgeschwindigkeit des Inductors der Maschine darstellt.

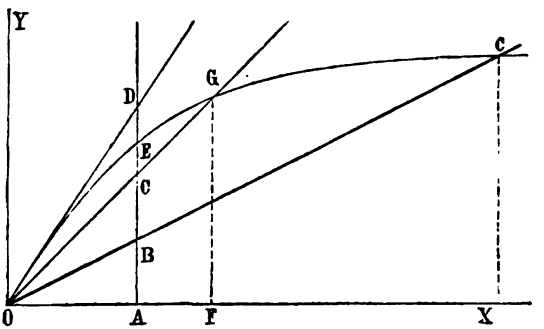
Auch *Deprez* geht bei seiner Theorie von einer ähnlichen Curve aus, welche aber eine andere Bedeutung hat und die er charakteristische Curve nennt.

83. Die charakteristische Curve von Marcel Deprez. Man unterbreche in einer dynamo-elektrischen Maschine die Verbindung zwischen der Leitung, welche die Elektromagnete umgibt, und derjenigen, welche den Inductor bildet; dann sende man durch die Spiralen der Elektromagnete einen Strom von bekannter Stärke, der von einer Extramaschine erzeugt wird, lasse ferner den Inductor mit einer gewissen Geschwindigkeit rotiren und messe die Spannung E des inducirten Stromes. Wenn man den Strom der Extramaschine variirt, so erhalten die Elektromagnete und das magnetische Feld der Maschine verschiedene Intensitäten und dadurch die Spannung E verschiedene Werthe. Es entspricht so jeder Intensität J des durch die Elektromag-

Digitized by Google

nete geleiteten Stromes eine bestimmte Spannung E an den Polklemmen des Inductors. Es ist dabei vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeit des letztern immer dieselbe sei. Bezeichnet man nun in einer graphischen Darstellung J durch die Abscisse und E durch die Ordinate, so erhält man aus den verschiedenen zusammengehörigen Werthen dieser beiden Grössen eine Curve, deren Form ganz allein von der Construction der Maschine abhängt und welche von *Depres* die charakteristische Curve genannt wird. Man stellt nun die Verbindung zwischen den Elektromagneten und dem Inductor wieder her und lässt die Maschine mit derselben Geschwindigkeit wie zuvor rotiren. Die Maschine wirkt nun dynamo-elektrisch und es entsteht eine gewisse Stromstärke J, welche nun auch die Elektromagnete erregt. Die oben construirte charakteristische Curve, welche in Fig. 208

Fig. 208.



Die charakteristische Curve von Deprez.

dargestellt ist, zeigt, dass der Stromstärke J entsprechend der Abscisse $O\,F$ eine Spannung gleich $F\,G$ entspricht, und dieses ist also die Spannung, welche bei der bestimmten Geschwindigkeit und der betreffenden Stromstärke wirklich auftreten wird.

Diese charakteristische Curve ist die Grundlage der Theorie von *Deprez*, wie wir gleich weiter entwickeln

Digitized by Google

werden. Vorher aber wollen wir, um Missverständnissen vorzubeugen, eine Kritik derselben einfügen. *Frölich* hat in seinen früher erwähnten Versuchen gezeigt, dass es gar nicht gleichgültig ist, ob der Inductor vom Strome durchflossen sei oder nicht, da die Inductionswirkung des magnetischen Inductors auf die Elektromagnete das magnetische Feld der Maschine verändere. *Frölich* hat durch seine ausgedehnten Messungen nachzuweisen gesucht, dass durch diese Inductionswirkung die Intensität des magnetischen Feldes der Maschine um 20 % verkleinert werden kann. Von *Deprez* wird dieser grosse Einfluss bestritten, und hierin liegt der Unterschied beider Theorien.

Die Erfahrung hat nun zwar gezeigt, dass auch die aus der Theorie von *Deprez* gefolgerten Resultate praktisch verwerthbar sind, so namentlich ihre Anwendung auf die elektrische Kraftübertragung, wovon noch später die Rede sein wird; im Nachfolgenden wird zunächst die Verwendung der charakteristischen Curve für die Theorie der Maschinen zur Anschauung gebracht.

84. Die Theorie der Dynamomaschine. Kennt man die elektromotorische Kraft E und die Stromstärke J, so lässt sich der Widerstand aus dem *Ohm*'schen Gesetze $E = J \times R$ leicht berechnen, nämlich $R = \frac{E}{J} = \frac{G\,F}{O\,F} = tang G\ O\ F$ (Fig. 208). Der Gesammtwiderstand der Leitung ist so durch die Tangente eines Winkels ausgedrückt, der leicht graphisch construirt werden kann. Dadurch ist es möglich, alle Probleme, welche auf die dynamoelektrische Maschine Bezug haben, auf die einfachste Weise graphisch zu lösen. Wenn man z. B. von einem gewissen Widerstand ausgeht und denselben mehr und mehr vermindert, so senkt sich die Linie $O\,G$, durch deren Neigung ja der Widerstand gemessen wird, immer mehr und mehr in der Richtung von $O\,C$. Vergleicht man mit ein-

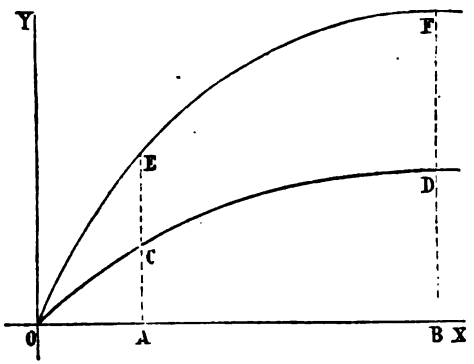
Digitized by Google

ander die zusammengehörigen Werthe GF und $tang\ GOF$, so sieht man, dass die Spannung im Anfang schnell steigt, später langsamer wächst und zuletzt constant wird.

Vergrössert man hingegen in der graphischen Darstellung den Widerstand, so hat die Linie OG die Tendenz, sich nach der Richtung der Y-Achse zu drehen, sie wird also die Curve immer näher und näher ihrem Anfange O durchschneiden und in der Stellung OD eine Tangente an dieselbe werden. In diesem Momente wird die Maschine stromlos sein. Das bedeutet, dass es für die Maschine einen gewissen Widerstand gibt, bei welchem die Stromstärke Null ist. Dieses hängt mit den todten Touren der Maschine zusammen.

Bis jetzt wurde die Rotationsgeschwindigkeit der Maschine als constant vorausgesetzt und die charakteristische Curve war nur für diese constante Geschwindigkeit v gültig. Wünscht man dieselbe für eine andere Geschwindigkeit v_1

Fig. 209.



Die charakteristische Curve für verschiedene Geschwindigkeiten.

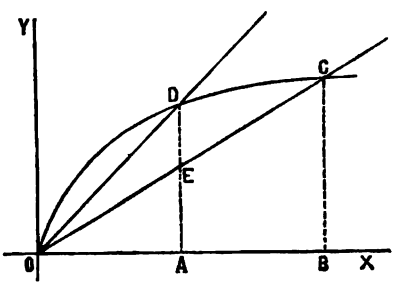
zu kennen, so braucht man nur die Ordinaten E mit der Zahl $\frac{v_1}{v}$ zu multipliciren. Diese Rechnung beruht auf der Annahme, dass innerhalb der in der Praxis verwendeten Ge-

Digitized by Google

schwindigkeiten die Spannungen proportional den verschiedenen Geschwindigkeiten seien. Diese Voraussetzung ist jedoch, wie die Figur 208, S. 362 zeigt, nur innerhalb enger Grenzen statthaft. Sucht man z. B. die Spannung E und die Stromstärke J für einen bestimmten Widerstand R bei einer Rotationsgeschwindigkeit v_1, während man nur die charakteristische Curve für die Geschwindigkeit v kennt, so kann man so verfahren: Setzt man das Verhältniss der Geschwindigkeiten $\frac{v}{v_1} = K$, so ist $E = K\,e$; woraus folgt: $J = \frac{K\,e}{R}$. Man erhält also das dem Widerstande R entsprechende J bei der Geschwindigkeit v_1, indem man die Stromstärke für den Widerstand $\frac{R}{K}$ in der Curve für die Geschwindigkeit v bestimmt. Diesem J entspricht für v eine Spannung e, und diese ist noch mit K zu multipliciren, um die elektromotorische Kraft für v_1 zu erhalten.

Eine sehr wichtige Aufgabe ist die Bestimmung der Spannungsdifferenzen an zwei beliebigen Theilen des Stromkreises, welche durch einen gewissen Widerstand von einander getrennt sind. Der Gesammtwiderstand der Leitung sei R und der Widerstand desjenigen Theiles, dessen Spannungsdifferenz e man bestimmen will, sei r. Man lege an die Linie $O\,X$ (Fig. 210) den Winkel $D\,O\,X$, dessen Tangente gleich R, und den Winkel $C\,O\,X$, dessen Tangente gleich r sein muss. Dann ist

Fig. 210.



Bestimmung von Spannungsdifferenzen.

$$D\,A = O\,A \times tang\,D\,O\,A = J \times R$$
$$E\,A = O\,A \times tang\,C\,O\,A = J \times r$$
$$D\,E = D\,A - E\,A = J(R - r).$$

Digitized by Google

Es ist aber nach dem *Ohm*'schen Gesetze $J \times (R - r)$ die Spannungsdifferenz zwischen den zwei Puncten des Stromkreises, welche durch den Widerstand $R - r$ getrennt sind, also das gesuchte e.

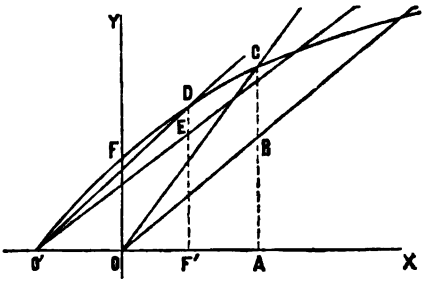
Deutet $C\,O\,X$ den innern Widerstand der Maschine an und lässt man den Gesammtwiderstand variiren, so repräsentirt $D\,E$ die Spannungsdifferenz an den Polen der Maschine. Anfangs ist dieselbe Null, wenn $O\,D$ und $O\,C$ zusammenfallen, sie wächst dann allmählich um ein Maximum zu erreichen, und nähert sich schliesslich wieder dem Nullpunct.

85. Maschinen mit separirter Schaltung. Ein besonders wichtiger Fall, welcher uns jezt speciell beschäftigen wird, ist derjenige, wo die Elektromagnete gleichzeitig von zwei Strömen durchflossen werden. Jeder Elektromagnet enthält zwei Spiralen, von denen die eine durch einen constanten Strom, welcher von einer Extramaschine erzeugt wird, durchflossen wird, während die andere in die Hauptleitung der Dynamomaschine eingeschaltet ist. Maschinen mit solchen Elektromagneten besitzen separirte Schaltung. Die Wirkungen dieser beiden Ströme werden sich addiren, aber für unsere Construction treten ganz andere Verhältnisse ein. Der Widerstand derjenigen Windungen, welche von dem constanten Strome der Extramaschine durchflossen werden, ist bei der Berechnung des Gesammtwiderstandes nicht zu berücksichtigen, da diese Leitung nicht im Hauptstromkreise der Maschine liegt. Der Widerstand dagegen der zweiten Spirale, durch die der Strom der Dynamomaschine fliesst, gehört zum Hauptstromkreis und muss berücksichtigt werden. Es sei nun in Fig. 211 $O^1\,F'\,C$ die charakteristische Curve der Maschine. Die gesonderte Spule sei von einem constanten Strome durchflossen, dessen Intensität O^1O ist und die Spannung daher $O\,F$, so lange der Strom in der zweiten Spirale noch nicht entstanden ist.

Digitized by Google

Wenn aber nun der im Inductor erzeugte Strom in die andere Spirale der Elektromagnete tritt, so addirt sich die Wirkung desselben zu der des ersten Stromes und der Ausgangspunct für die neue charakteristische Curve ist der Punct *F*.

Fig. 211.



Charakteristische Curve für die separirte Schaltung.

Daraus kann man sofort folgenden Schluss ziehen: Es sei in dem ersten Falle, d. h. ohne den constanten Strom in der ersten Spirale $E\,O^1\,X$ der innere Widerstand der Maschine, dann wird das Maximum der Potentialdifferenz, die man in diesem Falle erreichen kann, durch $D\,E$ dargestellt und entspricht dem Widerstande $D\,O^1\,X$. Hat man jedoch bereits ein durch den constanten Strom erzeugtes magnetisches Feld, so wird, da der innere Widerstand der Maschine $B\,O\,X = E\,O^1\,X$ derselbe geblieben ist, die nutzbare Potentialdifferenz bedeutend wachsen, wie man aus der Linie $C\,B$ sieht, welche viel länger ist als $D\,E$ und nicht einmal das Maximum repräsentirt.

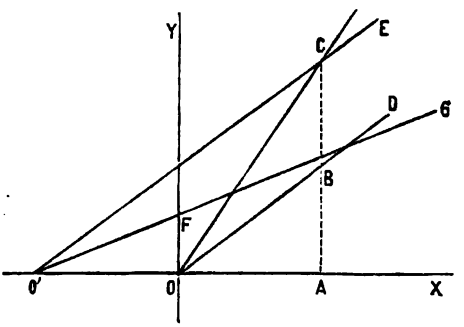
Depres hat für eine grosse Reihe von *Gramme*-Maschinen die charakteristische Curve experimentell bestimmt und gefunden, dass der Anfang derselben sehr wenig gekrümmt ist. Bis zu dem Puncte, wo die Elektromagnete ihrer Sättigung sich nähern, kann man dieselbe als eine gerade Linie betrachten. Wendet man Maschinen an, deren Elektro-

Digitized by Google

magnete sehr grosse Dimensionen im Verhältniss zum Inductor haben, so wird dieser Sättigungspunct erst sehr spät eintreten und die Curve dieser Maschine wird sehr lange eine gerade Linie bleiben. Man kann deshalb für sehr viele Maschinen die charakteristische Curve für die in der Praxis vorkommenden Umstände durch eine gerade Linie ersetzen, aber nur annäherungsweise. Bei denjenigen Maschinen, welche *Frölich* untersucht hat, kann man die Curve am Anfang und am Ende durch eine gerade Linie ersetzen; in der Mitte dagegen, wo das in der Praxis gewöhnlich benutzte Gebiet liegt, besitzt die Curve gerade die grösste Krümmung. Die Resultate daher, welche *Depres* aus seiner Theorie gezogen hat, sind nicht ohne Weiteres auf alle Maschinen anwendbar. Aber die Methode, durch welche diese Resultate gewonnen werden, ist so einfach und elegant, dass schon aus diesem Grunde es berechtigt ist, ihre Anwendung an einigen Beispielen zu zeigen.

86. Dynamomaschinen mit constanter Spannung. Wenn die Aufgabe gestellt wird, eine elektrodynamische Maschine so zu

Fig. 212.



Maschine mit constanter Spannung.

construiren, dass die Potentialdifferenz an ihren Polklemmen für eine gewisse Geschwindigkeit constant bleibt, gleichviel wie gross der Widerstand in der äussern Leitung ist und ob

Digitized by Google

derselbe sich ändert, so ist folgendes zu beobachten. Wenn man für eine gewisse Geschwindigkeit die charakteristische Curve einer Maschine construirt hat, so wird man nach den vorhergehenden Betrachtungen hiefür eine gerade Linie mit einer bestimmten Neigung gegen die $O\ X$-Achse bekommen. Wenn man die Geschwindigkeit verändert, so muss man, um die neue Curve zu erhalten, alle Ordinaten mit einer constanten Zahl multipliciren, wie vorhin bemerkt wurde. Das kommt aber darauf hinaus, dass die charakteristische Gerade um einen gewissen Winkel gedreht wird, um den Punct, wo sie die O X-Achse durchschneidet.

Es sei nun $O^1\ G$ die charakteristische Curve einer Maschine. Erzeugt man in derselben ein magnetisches Feld durch einen constanten äussern Strom, so wird die charakteristische Linie repräsentirt durch den Theil $F\ G$ der geraden Linie. Sei nun $D\ O\ X$ der innere Widerstand der Maschine, so begegnen sich die Linien $F\ G$ und $O\ D$ im allgemeinen in einem Puncte, so dass der Theil der Ordinaten zwischen diesen beiden Linien, welcher, wie man weiss, die Klemmenspannung dieser Maschine repräsentirt, veränderlich ist. Es wird deshalb jedem äussern Widerstande im allgemeinen eine andere Klemmenspannung entsprechen, aber wir besitzen das Mittel, sie constant zu machen. Wir können in der That die Gerade $O^1\ G$ um den Punct O^1 sich drehen lassen, indem wir die Geschwindigkeit verändern. Es wird deshalb für eine gewisse Geschwindigkeit die Gerade die Lage $O^1\ C$ annehmen, parallel zu $O\ D$. Dann wird die Gerade $C\ B$, welche die Klemmenspannung repräsentirt, constant bleiben für jeden beliebigen Widerstand $C\ O\ X$ des äussern Kreises, und wir haben so eine Maschine erhalten, welche bei der bestimmten Geschwindigkeit einen Strom von immer gleicher Spannungsdifferenz liefert, wie man auch den äussern Widerstand variiren mag.

Digitized by Google

Auf ähnliche Weise hat auch *Deprez* gezeigt, dass es möglich ist, Maschinen mit constanter Stromstärke zu construiren; doch müssen wir hierüber auf die Originalabhandlungen von *Deprez* verweisen[1]).

87. **Combinirte Maschinen.** Wie wir aus den im Artikel 80 abgeleiteten Formeln sehen, ist der von der Maschine gelieferte elektrische Strom abhängig vom Widerstande der äussern Leitung. Die Stromstärke ist

$$J = \frac{1}{b}\left(n\,\frac{v}{W} - a\right)$$

und die Spannung

$$E = \frac{1}{b}\left(n\,v - a\,W\right).$$

Wenn wir den Widerstand verändern und die Tourenzahl beibehalten, so bekommen wir einen elektrischen Strom von ganz anderer Beschaffenheit, von anderer Intensität und anderer Spannung. Für das praktische Bedürfniss ist es aber nothwendig, wenigstens angenähert einen Strom von gleicher Beschaffenheit zu haben. Für gewisse Zwecke, z. B. für die elektrische Glühlichtbeleuchtung, ist erforderlich, dass die Polklemmen der Maschine eine constante Spannung haben, gleichviel, welches der Widerstand in der äussern Leitung ist; für andere Zwecke dagegen, z. B. für die Galvanoplastik, muss die Stromstärke constant sein. Die Entdeckung von *Deprez*, dass es eine Methode gebe, die dynamo-elektrischen Maschinen so zu bauen, dass sie ohne weitere Regulirapparate Ströme von constanter Spannung oder von constanter Intensität je nach den Umständen liefern, ist deshalb von grösstem praktischem Interesse. In Artikel 84 ist nachgewiesen worden, dass, wenn die Elektromagnete einer dynamo-elektrischen Maschine mit einer dop-

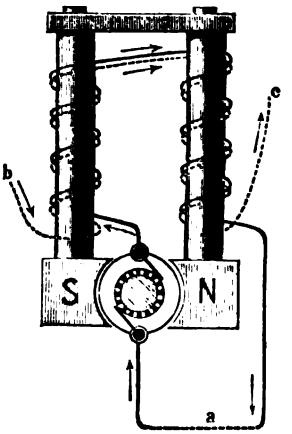
1) Congrès international des Electriciens. Paris 1881. Comptes rendus des travaux. p. 103.

Digitized by Google

pelten Reihe von Windungen versehen werden, von denen die eine von einem unabhängigen constanten Strom durchflossen wird, während durch die andere der Strom der Maschine selbst fliesst, es dann immer eine gewisse Geschwindigkeit des Inductors gibt, bei welcher die Maschine entweder einen Strom von constanter Spannung oder constanter Intensität liefert, gleichviel welches der Widerstand in der äussern Leitung ist. Professor *Perry* hat andere Methoden ersonnen, um denselben Zweck zu erreichen. Im Folgenden stellen wir die wichtigsten dieser Methoden zusammen, welche auf einer Combination verschiedener Schaltungen und verschiedener Maschinen beruhen, um einen Strom von einer bestimmten Eigenschaft zu erzeugen. Wir nennen desshalb solche Vorrichtungen combinirte Maschinen.

Constante Spannung nach *Deprez*. Dies ist der in Artikel 86 ausführlich erörterte Fall der separirten Schaltung. Die Methode kann auf jede beliebige Maschine angewendet werden, vorausgesetzt, dass die Elektromagnete mit einer zweifachen Wicklung versehen sind, so dass ein besonderer Strom von einer unabhängigen Elektricitätsquelle durch den einen Theil *b c* (Fig. 213) geleitet werden kann. Dadurch wird ein constantes magnetisches Feld erzeugt, welches unabhängig von dem durch die Hauptleitung *a* fliessenden Strom der Maschine ist. Wenn diese mit einer gewissen Geschwindigkeit rotirt, so wird die elektromotorische Kraft, welche den Strom erzeugt, theilweise abhängen von diesem von dem Gang der Maschine

Fig. 213.



Constante Spannung nach Deprez.

Digitized by Google

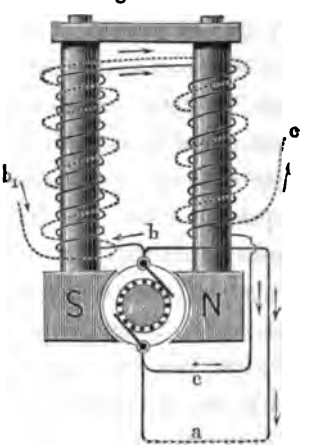
unabhängigen constanten magnetischen Felde, theilweise von der eigenen Erregung des Maschinenstromes.

Wenn die Geschwindigkeit so gewählt wird, dass der Quotient aus dem Theil der elektromotorischen Kraft, welcher von der Selbsterregung herrührt, dividirt durch die Stromstärke, numerisch gleich ist dem innern Widerstande der Maschine, dann ist die Spannung im äusseren Kreise constant, welches auch der äussere Widerstand ist. Das ist in Worten ausgedrückt das Resulsat unserer im Artikel 86 ausgeführten graphischen Construction.

Der constanten Spannung der Maschine kann man jeden beliebigen Werth geben, indem man den Separatstrom passend gross macht.

Constante Stromstärke nach *Deprez*. Das in Fig. 214 dargestellte Arrangement, um nach *Deprez* eine constante Stromstärke zu erhalten, unterscheidet sich von dem vorigen dadurch, dass die Elektromagnete nicht in die Hauptleitung *a*, sondern in eine Nebenleitung *(b c)* gestellt werden. Es ist nun sehr interessant, dass die Geschwindigkeit für eine Maschine, um constante Stromstärke zu erhalten, dieselbe ist, wie diejenige, um constante Spannungen zu erhalten. Man kann deshalb das eine oder das andere Resultat erreichen durch einen einfachen Umschalter, der den einen Theil der Wicklung der Elektromagnete einmal in die Hauptleitung, das andere Mal in eine Nebenleitung zu derselben schaltet.

Fig. 214.



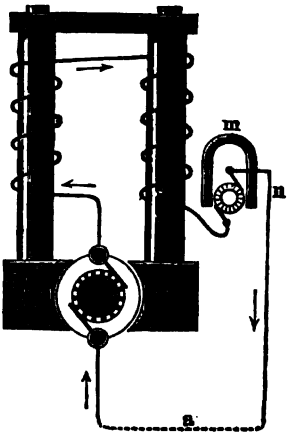
Constante Stromstärke nach Deprez.

Constante Spannung nach *Perry*. Bei der Methode von *Perry* wird ein anfänglich von der Maschine unabhängiges

Digitized by Google

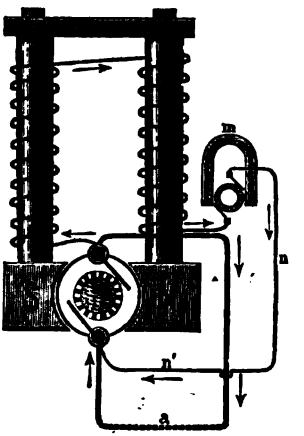
magnetisches Feld dadurch erzeugt, dass eine magnet-elektrische Maschine (*m*) in die Hauptleitung *a* eingeschaltet wird. Dieselbe wird mit einer gewissen gleichförmigen Geschwindigkeit getrieben und erzeugt in der Maschine ein magnetisches Feld von bestimmter Stärke wie bei der Methode von *Deprez* die separirte Wicklung der Elektromagnete. *Perry* bestimmt dann durch Versuche diejenige Geschwindigkeit der Magnetmaschine und der Dynamo-Maschine, bei der die Spannung unabhängig vom äussern Stromkreis wird. Es ist ein Nachtheil dieser Methode, dass durch Hintereinanderschaltung zweier Maschinen der Widerstand sehr vergrössert und die Anlage unökonomisch gemacht wird. Ueberdies ist zu erwähnen, dass schon *Hjörth* 1854 diese Combination einer magnet-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschine angegeben hat.

Fig. 215.



Constante Spannung nach Perry.

Fig. 216.



Constante Stromstärke nach Perry.

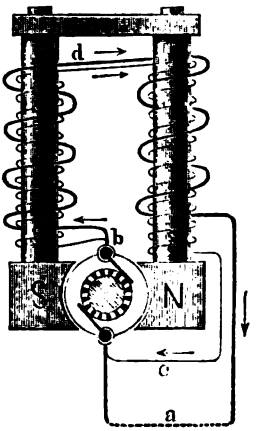
Um einen constanten Strom zu erhalten, verwendet *Perry* das in Fig. 216 angedeutete Arrangement. Die Elektromagnete mit der magnet-elektrischen (*m*) Maschine liegen in einer Nebenleitung (*n*). Die passenden Geschwindigkeiten müssen experimentell ermittelt werden.

Brush verwendete bei seinen ersten Maschinen die so-

Digitized by Google

genannte Compound-Schaltung. Dieselbe besteht darin, dass der Elektromagnet, der in die Hauptleitung eingeschaltet ist, noch eine zweite Wicklung von ganz dünnem Drahte erhält; letztere steht mit den Bürsten in Verbindung und bildet demnach einen Nebenschluss zum äussern Stromkreise. Es wird hierdurch die Intensität des magnetischen Feldes vom äussern Stromkreise weniger influencirt.

Fig. 217.



Compound-Schaltung von Brush.

In neuerer Zeit haben besonders auch *Siemens & Halske* sich mit der Aufgabe beschäftigt, dynamo-elektrische Maschinen mit constanter Klemmenspannung zu construiren.[1]) Sie suchen dies zu erreichen mit der sogenannten gemischten Schaltung, welche zuerst von *Synsteden* im Jahre 1871 angegeben wurde. Dieselbe wird so ausgeführt, dass entweder je zwei der vier Elektromagnetschenkel dünnen, die anderen zwei dicken Draht, oder so, dass jeder der vier Schenkel eine dünn- und eine dickdrähtige Bewicklung erhielten, welche übereinander oder nebeneinander zu liegen kamen. Die dünndrähtige Bewicklung kann entweder im Nebenschluss zum Anker oder im Nebenschluss zur ganzen Maschine liegen; die dickdrähtige Bewicklung wird entweder vom Hauptstrom oder von einem Theil desselben durchflossen. Mit Hülfe der einen oder anderen Compound-Schaltung ist es gelungen, Maschinen zu construiren, deren Klemmenspannung sich nur unerheblich ändert, wenn die Anzahl der Glühlampen auch von 1 bis 20 gesteigert wird. So betrug bei einer Maschine die Klemmenspannung für eine

1) Richter, Elektrotechnische Zeitschrift 1883, p. 161.

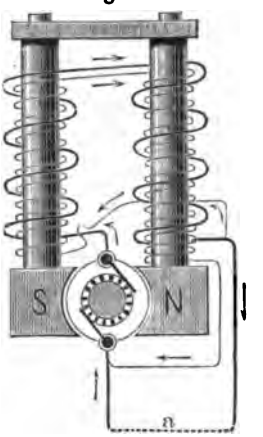
Digitized by Google

eingeschaltete Lampe 63 Volt, für 8 Lampen stieg sie auf 67 Volt und sank dann langsam wieder, so dass sie bei 20 Lampen noch 64 Volt betrug. Die Elektromagnetschenkel enthielten zwei Wicklungen, nämlich 2 Lagen von 3,5mm starkem Draht in der Hauptleitung und 29 Lagen 1mm starken Draht in einer Nebenleitung zum Inductor geschaltet.

Wir hatten Gelegenheit, bei der Firma *Spiecker & Comp.* in Köln, welche sich auch mit der Construction dieser Maschinen befasst, eine ähnliche Maschine arbeiten zu sehen. Dieselbe war für 20 *Edison A*-Lampen construirt. Es konnten sämmtliche 20 Lampen nach Belieben einzeln oder mehrere aus- und angedreht werden und trotzdem war eine Zu- oder Abnahme der Helligkeit der übrigen kaum wahrzunehmen.

Prof. *Silvanus P. Thompson* schlägt das in Fig. 218 skizzirte Arrangement vor. Dasselbe unterscheidet sich von dem vorhergehenden dadurch, dass die zweite Wicklung der Elektromagnete nicht gebildet wird von einer Nebenleitung vom Collector aus, sondern der ganze Strom durchfliesst zuerst die Elektromagnete und erst dann zweigt ein Theil in die Nebenleitung ab. Diese Schaltung ist auf constante Spannung berechnet.[1])

Fig. 218.



Constante Spannung nach Thompson.

88. Eintheilung der dynamo-elektrischen Maschinen. Die dynamo-elektrischen Maschinen können nach verschiedenen Gesichts-

1) Wir verdanken die Fig. 218 und die übrigen auf die Schaltungen der combinirten Maschinen Bezug habenden Figuren dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Prof. Silvanus P. Thompson in Bristol, dessen Schrift „Cantor Lectures", 1883, dieselben entnommen sind.

Digitized by Google

puncten classificirt werden. Man kann dabei in Betracht ziehen:

1) die Natur des erzeugten Stromes;
2) die Natur und die Anordnung des magnetischen Feldes;
3) die Form des Inductors oder Schenkels.

1) Classification der Maschinen nach der Natur des erzeugten Stromes. Fast alle Maschinen erzeugen Wechselströme; während einer bestimmten Zeitperiode fliesst der inducirte Strom nach einer Richtung, in der darauf folgenden Zeitperiode nach der entgegengesetzten. Nur die Unipolarmaschinen liefern Ströme von immer derselben Richtung. Diese Wechselströme werden in einigen Maschinen als solche direct fortgeleitet, in anderen durch Commutatoren (S. 94) vorerst gleichgerichtet gemacht oder durch Collectoren (S. 182) so aufgefangen, dass im äussern Stromkreise ein nahezu gleichförmiger Strom circulirt.

Wir können daher folgende vier Classen von Maschinen unterscheiden:

a. Maschinen für Wechselströme. Die Ströme werden so, wie die Inductionsspulen sie liefern, fortgeleitet; man erhält bis 30 000 in der Richtung abwechselnde Strom-Impulse in der Minute.

b. Maschinen für gleichgerichtete Ströme. Ein Commutator (S. 94) kehrt jedesmal die Stromrichtung, wenn die Ströme, welche im Inductor entwickelt werden, ihre Zeichen ändern wollen. Man erhält nun nicht mehr Strom-Impulse von abwechselnder Richtung, sondern solche, welche sämmtlich gleichgerichtet sind, aber der so entstehende Strom ist nicht constant, sondern wechselt periodisch seine Stärke, indem er bei jeder Commutation auf Null heruntersinkt.

c. Maschinen mit continuirlichem Strome. Der aus vielen Abtheilungen bestehende Inductor ist mit einem Collector (S. 231) verbunden, welcher eine sehr grosse An-

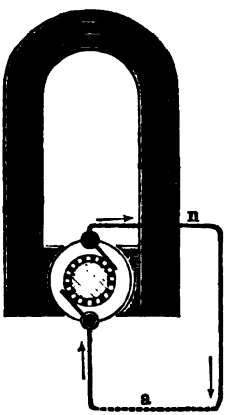
Digitized by Google

zahl partieller Commutationen erzeugt. Es entsteht dabei ein periodisch zu- und abnehmender Strom, dessen Intensität um so gleichförmiger wird, je zahlreicher die Abtheilungen des Inductors sind.

d. Maschinen mit constantem Strom. Der in der Inductionsspule erzeugte Strom hat immer dieselbe Intensität und die Maschine liefert daher, ohne Zuhülfenahme von besonderen mechanischen Vorrichtungen, Ströme von immer gleicher Richtung und gleicher Intensität.

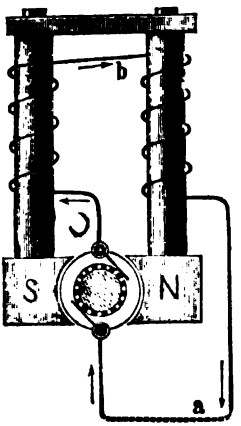
2. Nach der Art und Anordnung des magnetischen Feldes unterscheidet man magnet-elektrische Maschinen, bei welchen das magnetische Feld durch permanente Magnete *m* (Fig. 219) erzeugt wird, und dynamo-elektrische

Fig. 219.



Magnet-elektrische Maschine.

Fig. 220.



Dynamo-elektrische Maschine mit einfachem magnetischem Felde.

Maschinen, bei welchen dies durch Elektromagnete geschieht. Bei den letzteren unterscheidet man noch nach der Natur des erzeugten magnetischen Feldes Maschinen mit einfachem magnetischem Felde; dasselbe wird erzeugt durch einen Nordpol *N* und einen Südpol *S* (Fig. 220). Andere Maschinen haben ein zusammengesetztes magnetisches Feld, zu dessen

Digitized by Google

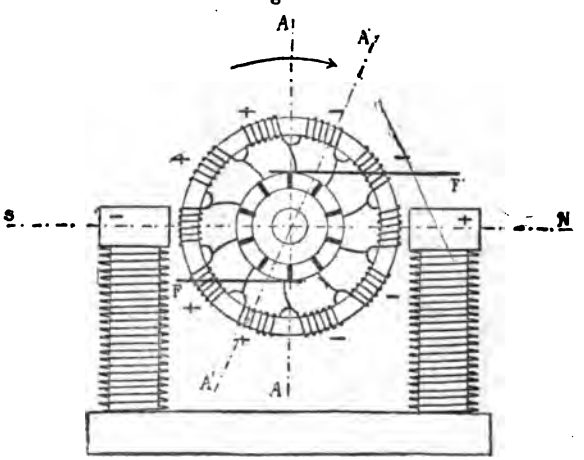
Erzeugung eine ganze Reihe von Magnetpolen verwendet werden.

3. Die Charakteristik der dynamo-elektrischen Maschinen nach der Form des Inductors ist sehr wichtig. Bei den Maschinen für continuirlichen Strom unterscheidet man vier Typen:

a. Die Ringarmatur.

Der Inductor besteht aus einem Eisenringe, welcher seinem ganzen Umfange nach mit Draht bewickelt ist. Das Princip und die Construction dieses Ringes und die Verbindung desselben mit einem Collector haben wir in der Einleitung (S. 33 u. 179) ausführlich erörtert und geben in Fig. 221 eine schematische Darstellung desselben. Bei der Con-

Fig. 221.



Schema der Ringarmatur.

struction sind folgende drei Hauptpuncte zu berücksichtigen.

Die Wicklung muss so beschaffen sein, dass sie Ströme liefert, welche möglichst constant und gleichförmig sind; der Eisenring darf die *Foucault*'schen Ströme nicht entstehen lassen.

Die Anordnung der Drahtwindungen hat so zu geschehen,

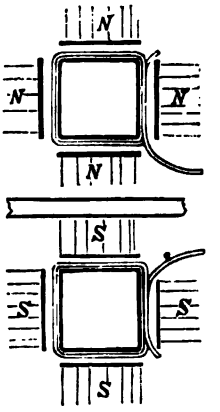
Digitized by Google

dass möglichst die ganze Länge derselben elektromotorisch inducirt werden kann.

Der letztere Gesichtspunct hauptsächlich hat zu den verschiedenen Formen, welche praktisch ausgeführt wurden, Veranlassung gegeben.[1])

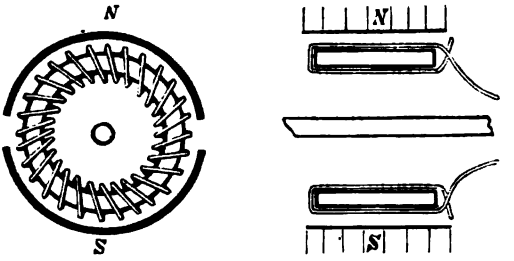
Die ideale Form des Ringes ist in Fig. 222 skizzirt. Der Eisenring, dessen Querschnitt quadratisch angenommen ist, wird auf allen Seiten von magnetischen Flächen umgeben, und zwar zur Hälfte von nordmagnetischen und zur Hälfte von südmagnetischen. Constructive Schwierigkeiten verhinderten bisher die reine Ausführung dieses Princips. Die wirklich ausgeführten Maschinen sind als mehr oder weniger vollkommene Abarten dieses idealen Ringes zu betrachten. Drückt man denselben in der Richtung senkrecht zur Achse zusammen und lässt die seitlichen und die inneren magnetischen Flächen weg, so erhält man die gewöhnliche *Gramme*'sche Maschine (Fig. 223). Setzt man

Fig. 222.



Der ideale Ring.

Fig. 223.



Der Ring von Gramme.

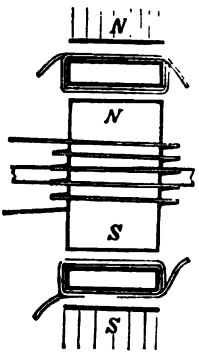
ferner in das Innere des Ringes einen Elektromagnet, der

1) Dr. *O. Frölich*, Elektrotechnische Zeitschrift 1882, S. 99 u. ff.

Digitized by Google

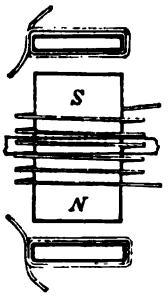
den magnetischen Flächen gleiche Polarität zukehrt, so erhält man die Maschine von *Jürgensen* (siehe Fig. 224 und

Fig. 224.



Der Ring der Maschine von Jürgensen.

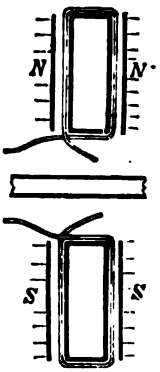
Fig. 225.



Der Ring von Siemens.

vergleiche S. 275). Auf der internationalen Elektricitäts-Ausstellung in Paris war von *Siemens und Halske* eine Maschine ausgestellt, bei welcher die äusseren Magnetflächen weggelassen und nur die inneren beibehalten waren (vergleiche Fig. 225). Drückt man den idealen Ring in der Richtung der Achse zusammen und stellt dessen breiten Seitenflächen die Magnete gegenüber, so erhält man die in Fig. 226 angedeutete sogenannte Flachringmaschine von *Schuckert*. Bis jetzt haben nur die erste und letzte Form dieser verschiedenen Modificationen praktischen Erfolg erzielt.

Fig. 226.



Der Flachring von Schuckert.

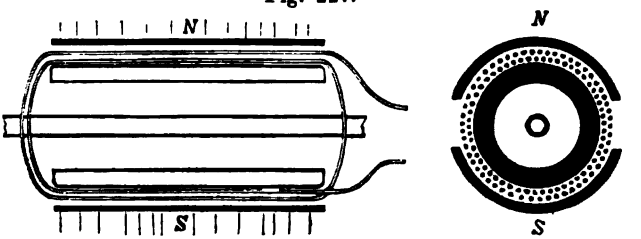
b. Die Trommelarmatur.

Anstatt die Drähte um einen Ring zu wickeln, werden sie der Länge nach auf eine Trommel oder Spindel gewunden. Sie umgeben die letztere der Länge nach parallel zur Achse und durchkreuzen die Stirnflächen in passender Anord-

Digitized by Google

nung; sie bilden auch wie beim Ring eine continuirliche, in sich geschlossene Leitung. Der Kern der Trommel wird von einem Cylinder aus Holz oder Papier maché gebildet, und hierauf kommt eine Lage Eisendrähte oder Eisenringe, welche derart angeordnet sind, dass die *Foucault*'schen Induc-

Fig. 227.



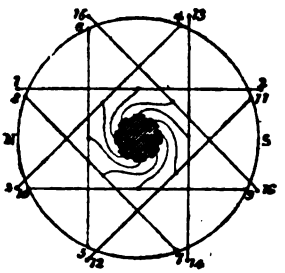
Die Trommel von Siemens.

tionsströme möglichst vermieden werden. Die verschiedenen Trommeln, welche bis jetzt construirt wurden, unterscheiden sich von einander ausser durch den Bau des Kernes wesentlich bloss noch durch die Verbindung der Windungen an den Stirnflächen. Die auf einander folgenden Abtheilungen der Wicklung des Inductors sind continuirlich mit einander verbunden; das Ende der einen Abtheilung und der Anfang der nächstfolgenden führen zum gleichen Segment des Collectors. Die von *Alteneck* zuerst construirten Trommeln besassen nicht eine symmetrische Verbindung der Wicklungsabtheilungen mit den Collectorsegmenten. Eine solche ist aber wünschenswerth erstens wegen der einfacheren Construction, dann aber auch, damit nirgends zwischen zwei Segmenten erhebliche Spannungen entstehen können, welche letztere leicht zu Funkenbildung zwischen zwei benachbarten Segmenten Veranlassung geben. *Frölich* entdeckte später eine symmetrische Anordnung, nach der jetzt die *Siemens*-Armaturen gewickelt werden. *Anton Bréguet* hat sodann gezeigt, dass eine grosse Anzahl solcher symmetrischer Verbindungen existiren, bei einer Trommel mit acht Abtheilungen

Digitized by Google

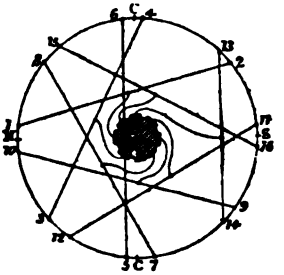
gibt es nicht weniger als acht. Man wird dann diejenige Wicklung auswählen, welche, um eine Wicklung mit derselben Inductionswirkung zu erhalten, die kürzeste Länge Draht braucht. *Bréguet* berechnet, dass für die Stirnflächen nach den verschiedenen Systemen folgende Drahtlängen nöthig seien:

Fig. 228.



Frölich.

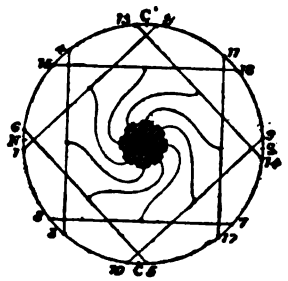
Fig. 229.



Hefner-Alteneck.

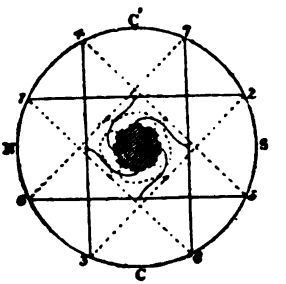
	Wicklung	*Frölich*	30,8
	„	*von Hefner-Alteneck*	30,5
Günstigste	„	*Bréguet*	26,0
Andere	„	„	28,4

Fig. 230.



Bréguet.

Fig. 231.



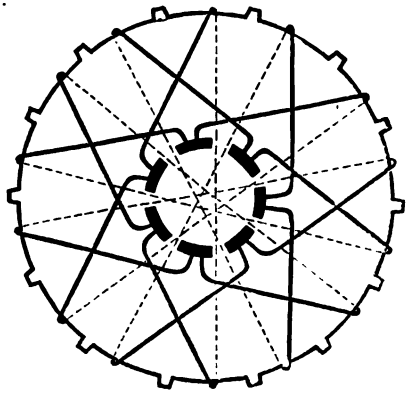
Bréguet.

Die Trommelarmatur ist die wichtigste Form des Inductors für Maschinen mit continuirlichem Strom und feiert ihren Triumph in der *Edison*-Maschine, deren Wicklung

Digitized by Google

zwar auch symmetrisch ist, die aber eine ungerade Anzahl von Abtheilungen hat (vergl. §. 61 und Fig. 155 resp. 232).

Fig. 232.

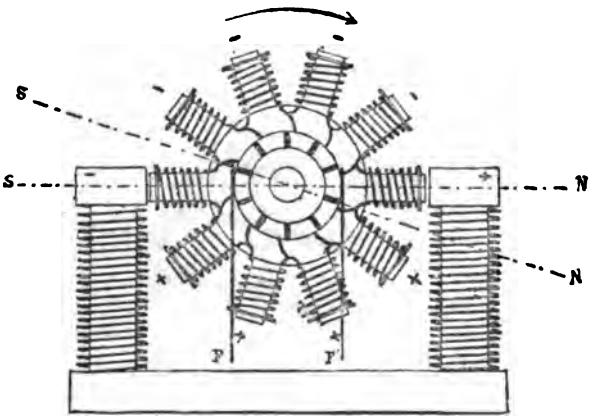


Die Trommel von Edison mit 7 Abtheilungen.

c. Pol-Armatur.

Die Drahtwindungen des Inductors sind auf radialen Eisenstücken aufgewickelt, wie Fig. 233 schematisch darstellt.

Fig. 233.



Die Pol-Armatur von Lontin.

Bei der Rotation dieses Rades zwischen zwei feststehenden Magnetpolen ändern die Eisenkerne abwechselnd ihre Polarität

Digitized by Google

und es entstehen durch diesen Polwechsel in den umgebenden Drähten Inductionsströme, welche durch einen Collector fortgeleitet werden.

d. Scheibenarmatur.

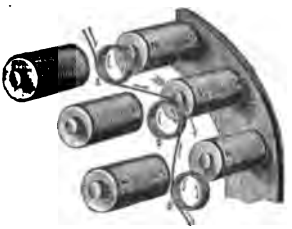
Diese Form hat bis jetzt keine praktische Bedeutung erlangt. Sie existirt in einer Maschine von *Arago* und in einem Patent von *Edison*. Auf einer Scheibe sind die zu inducirenden Leiter angeordnet; sie bestehen aus Draht oder Kupferbarren, welche der Peripherie der Scheibe folgen und mit radialen Verbindungsstücken zu einem Collector versehen sind.

Bei den Wechselstrom-Maschinen ist eine Eintheilung nicht so leicht und streng durchzuführen. Das rührt daher, weil das magnetische Feld dieser Maschinen ein sehr zusammengesetztes ist und daher vielfache constructive Variationen erlaubt. Die wichtigsten Formen kann man in folgender Classification unterbringen:

a. Die Spulenarmatur.

Diese Armatur ist charakteristisch für die Wechselstrom-Maschinen. Der Inductor besteht aus Drahtspulen, welche an der Peripherie einer Scheibe befestigt sind, und zwar

Fig. 234.



Spulenarmatur von Siemens.

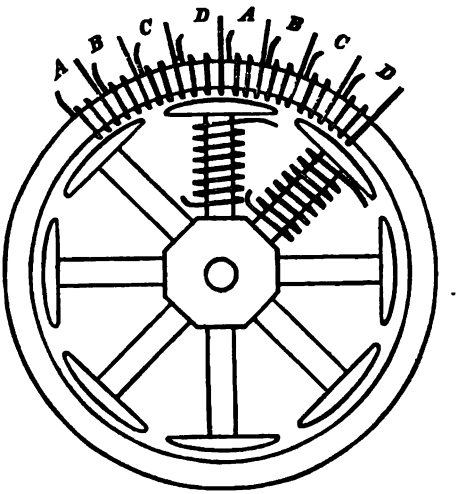
so, dass ihre Achsen parallel zur Rotationsachse sind. Bei einer Anzahl Maschinen ist der Inductor fest *(Jablochkoff, Gordon)* und werden die Elektromagnete bewegt; bei andern wird umgekehrt der Inductor bewegt *(Siemens)*.

Digitized by Google

b. Die Ringarmatur.

Die Drahtwindungen sind wie bei den Maschinen für continuirlichen Strom auf einen Ring aufgewickelt, aber nicht wie dort in continuirlicher Folge, sondern sie sind in viele Abtheilungen *A*, *B*, *C*, *D*, *A*. . . getrennt, von denen die gleichwirkenden *A A* etc. unter sich verbunden sind.

Fig. 235.



Der Ring-Inductor der Wechselstrom-Maschine von Gramme.

c. Die Pol-Armatur.

Die Maschinen mit Pol-Armatur bestehen aus einem Kranz von Inductionsspulen und einem Rad von Elektromagneten, das sich in jenem dreht. Die Achsen der Elektromagnete stehen senkrecht zur Rotationsachse der Maschine. (S. f. S. Fig. 236.)

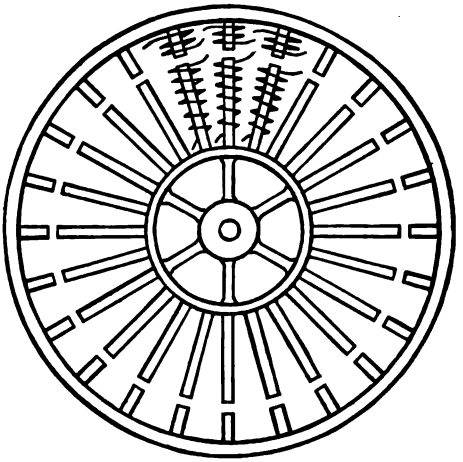
d. Die Scheibenarmatur.

Die Maschine von *Ferranti-Thomson* ist das einzige Beispiel einer praktisch ausgeführten Scheibenarmatur. Die Drahtwindungen sind in zickzackförmigen Windungen auf der rotirenden Scheibe angeordnet. (S. f. S. Fig. 237.)

Digitized by Google

89. Die Collectoren. Die Collectoren kommen bei allen dynamo-elektrischen Maschinen vor, welche direct ohne Commutation continuirliche Ströme erzeugen. Da dieselben

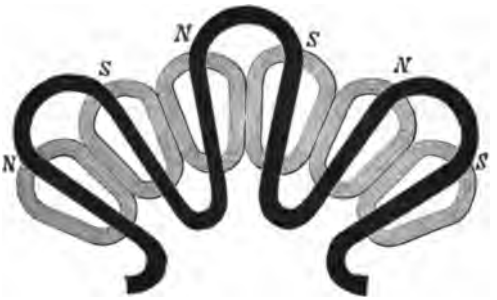
Fig. 236.



Die Polarmatur der Wechselstrom-Maschine von Lontin.

einen der wichtigsten Bestandtheile dieser Maschine bilden, verdienen sie eine eingehendere Behandlung. Gewöhnlich

Fig. 237.



Die Scheibenarmatur von Ferranti-Thomson.

werden die Collectoren gebildet aus einer Reihe von Kupferstücken, welche parallel zur Achse auf ihrer Peripherie gut

Digitized by Google

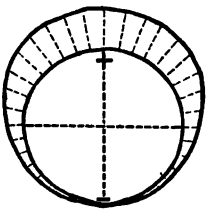
von einander isolirt befestigt sind. Man hat mit der Zeit verschiedene Modificationen in Vorschlag gebracht. *Niaudet* befestigte die Kupferstücke radial an einer Scheibe; *Weston* und *Schuckert* verwendeten gekrümmte Kupferstreifen. Diese Abweichungen stellten sich aber nur als nutzlose oder gar schädliche Complicationen der einfachen cylindrischen Construction heraus.

In einer gut construirten dynamo-elektrischen Maschine mit Collector werden die einzelnen Theile des letzteren von Strömen durchflossen, welche von der negativen Bürste aus nach beiden Richtungen die einzelnen Abtheilungen der Wicklung durchfliessen und sich in demjenigen Stücke des Collectors treffen, welches die positive Bürste berührt. Jede Abtheilung des Inductors fügt zu der elektromotorischen Kraft der vorhergehenden ihre eigene hinzu und verstärkt daher den durchfliessenden Strom. Wenn man nun die Spannung zwischen der negativen Bürste und den folgenden Stücken des Collectors misst, so findet man, dass dieselbe längs des Collectors in beiden Richtungen regelmässig zunimmt und ihr Maximum erreicht an der entgegengesetzten Seite, wo die positive Bürste ist. Man kann sich hiervon experimentell überzeugen mit Hülfe eines Galvanometers, dessen einen Pol man mit der negativen Bürste befestigt, während man an den andern Pol ein Kupferstück verbindet, mit dem man die einzelnen Strahlstücke des Collectors der Reihe nach berührt. Trägt man die einzelnen Spannungsdifferenzen graphisch auf der Peripherie des Collectors auf, so erhält man die in Fig. 238 abgebildete Zeichnung. Man sieht daraus, wie die Spannung vom untersten Puncte des Kreises, der die negative Bürste repräsentirt, vollkommen regelmässig wächst bis zu seinem Maximum bei der positiven Bürste am obersten Puncte des Kreises. Trägt man diese Werthe auf einer geraden Linie ab, indem man die Peripherie des Collectors in eine Ebene

Digitized by Google

abgewickelt denkt, so erhält man das in Fig. 239 dargestellte Diagramm. Dasselbe zeigt, dass die Spannung nicht

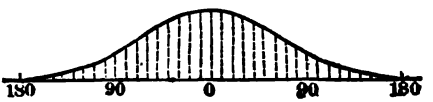
Fig. 238.



Spannungsvertheilung am Collector einer Gramme-Maschine.

zwischen jedem Strahlstücke um gleichviel zunimmt, da dann die Begrenzungscurven aus zwei geraden Linien bestehen würden. In Wirklichkeit ist die Zunahme der

Fig. 239.



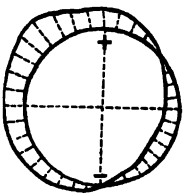
Horizontales Diagramm der Spannungen am Collector einer guten Maschine.

Spannung in der Nähe der positiven und negativen Bürste am kleinsten und wird am grössten in der Gegend, welche ungefähr um 90° von den Bürsten absteht. In der That passiren dann die Abtheilungen des Inductors, welche mit den betreffenden Strahlstücken verbunden sind, diejenige Gegend des magnetischen Feldes, welche die stärkste Inductionswirkung ausübt. Würde das magnetische Feld der Maschine vollkommen homogen sein, so würde die Anzahl der Kraftlinien, welche von der in dem Felde rotirenden Drahtspule geschnitten werden, proportional sein dem Sinus des Winkels, welchen die Ebene der Spule mit der Richtung der magnetischen Kraftlinien macht. Die Zu- und Abnahme oder die Aenderung der Anzahl dieser Linien ist dann proportional dem Cosinus dieses Winkels. Der Cosinus ist am grössten, wenn der Winkel gleich Null ist. Wenn

Digitized by Google

daher die Drahtspule parallel den Kraftlinien oder um 90° gegen die Bürsten gedreht ist, so muss die Zunahme der Spannung am grössten sein. Dies ist in der Fig. 239 sehr nahe der Fall, welche in der That fast genau die Form

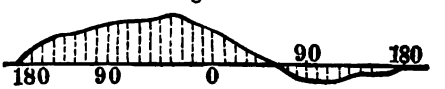
Fig. 240.



Unrichtige Vertheilung der Spannung am Collector.

einer Sinuslinie hat. Die Messungen über die Vertheilung der Spannung am Collector haben ein sehr grosses praktisches Interesse. Sie zeigen nicht nur, wo die Bürsten zu placiren sind, um die beste Wirkung zu erhalten, sondern gestatten uns auch die Wirksamkeit der Spulen in den verschiedenen Theilen des magnetischen Feldes zu beurtheilen. Wenn die Bürsten am unrichtigen Orte angebracht sind oder wenn die Polstücke des Elektromagnets eine unrichtige Form haben, so wird der Verlauf der Spannung am Collector unregelmässig werden und es werden sich Maxima und Minima der Spannung an anderen Puncten bilden als da, wo die Bürsten den Collector berühren. Ein wirkliches Diagramm der Spannungsverhältnisse am Collector einer unrichtig construirten Maschine zeigt Fig. 240, dasselbe ist

Fig. 241.



Horizontales Diagramm einer unrichtigen Vertheilung der Spannungen.

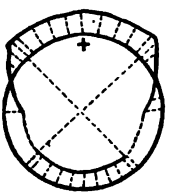
in Fig. 241 auf eine horizontale Linie übertragen. Man sieht daraus, dass nicht nur die Vertheilung der Spannung am Collector unregelmässig ist, sondern dass auch ein Theil

Digitized by Google

des Collectors eine grössere positive Spannung besass als die positive Bürste und ein anderer Theil eine grössere negative als die negative Bürste. Es wurde dadurch ein Theil des von der Maschine erzeugten Stromes durch sie selbst wieder zerstört und es wäre möglich, durch ein zweites Paar Bürsten, welches den Collector an der Maximal- und Minimalstelle der Spannung berührt, einen weiteren Strom abzuleiten. In dem englischen Patent Nr. 1640, 1882, hat sogar ein gewisser *Kennedy* eine Maschine patentirt erhalten, welche vermöge ihrer unrichtigen Construction an sechs verschiedenen Bürsten Ströme abgibt.

Alle Maschinen mit Collectoren und mit einfachem magnetischem Felde geben Curven wie die in Fig. 238. Die *Brush*-Maschine dagegen, welche allerdings auch ein einfaches magnetisches Feld hat, die aber keinen Collector, sondern einen Commutator besitzt, zeigt eine ganz andere Vertheilung der Spannung. Ueber ein Achtel des Umfanges zu jeder Seite des Berührungspunctes der positiven Bürste ist keine merkbare Spannungsdifferenz, sondern alle Puncte haben dieselbe Spannung, nämlich diejenige der Bürste selbst. Ebenso ist es in der Nähe der negativen Bürste, wo die Spannung den constanten Werth dieser Bürste hat. Da-

Fig. 242.



Vertheilung der Spannung am Commutator der Brush-Maschine.

zwischen liegt nun die Gegend, wo die Spannung kleiner wird und durch Null hindurchgehend ihr Zeichen ändert. Diese Verhältnisse sind in Fig. 242 angedeutet.

Digitized by Google

VIII. Abtheilung.

Der Volta'sche Lichtbogen

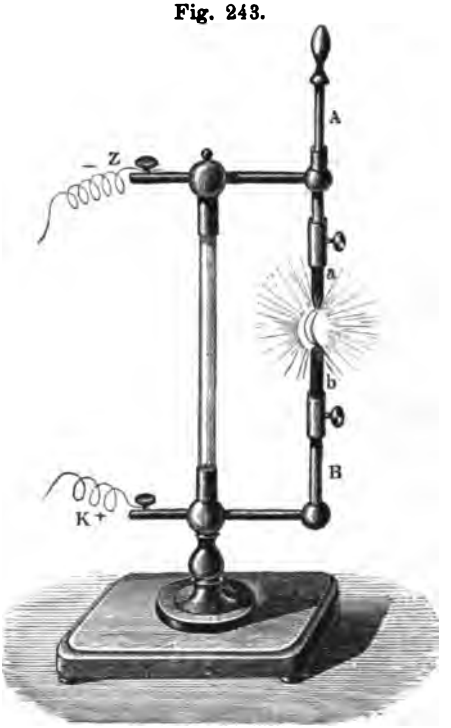
und seine Lichtstärke; Beschaffenheit der Kohlenstäbe.

90. Der Volta'sche Lichtbogen entsteht, wie wir bereits S. 195 vorübergehend angeführt haben, wenn man die von den Polen einer starken galvanischen Batterie oder einer magnet- oder dynamo-elektrischen Maschine ausgehenden zwei Leitungsdrähte mit zugespitzten Kohlenstäbchen verbindet und letztere, nachdem man dem elektrischen Strome zuerst den Durchgang durch die geschlossene Leitung gestattet und dadurch die Kohlen zum Glühen gebracht hat, ein wenig von einander entfernt. Man nennt dabei diejenige Kohle *b*, Fig. 243, welche durch den Kohlenhalter *B* und die Leitung *K* mit dem +Pole der Batterie in Verbindung steht, die positive, die andere *a*, welche durch *A* und *Z* mit dem —Pole verbunden ist, die negative Kohle. Hat man vor dem Eintritte des Stromes durch Herabschieben der oberen Kohle *a* die beiden Kohlenspitzen mit einander in Berührung gebracht, so fangen dieselben an zu glühen, sobald der Strom durch die Leitung hindurchgeht, aber es bildet sich kein Flammenbogen, der das sogenannte elektrische Licht ausstrahlt. Erst wenn man dann die beiden Kohlenspitzen auf einige Millimeter von einander entfernt, so zeigt sich zwischen ihnen eine flammenartige, eiförmige, leicht hin

Digitized by Google

und her wogende Lichtgarbe von äusserst intensivem Glanze, der galvanische oder *Volta*'sche Flammenbogen, der

Fig. 243.



Das elektrische Kohlenlicht.

an Umfang und an Lichtfülle in dem Maasse bis zu einer gewissen Höhe zunimmt, als man die Kohlen weiter von einander entfernt, dann aber bei noch grösserer Entfernung der Kohlenspitzen rasch an Intensität abnimmt und plötzlich erlischt, wenn der Abstand der Kohlenstäbchen so gross geworden ist, dass die Elektricität die zwischen ihnen befindliche Schicht glühender Luft und glühender Kohlenpartikelchen nicht mehr überwinden kann.

Das blendende Licht, welches der Flammenbogen ausstrahlt, gestattet dem unbewaffneten Auge nicht den directen Anblick der Kohlenspitzen, und Blendgläser lassen die Einzel-

Digitized by Google

heiten dessen, was zwischen ihnen vorgeht, nicht deutlich genug erkennen. Um daher diese Erscheinung ohne Gefahr für die Augen studiren zu können, empfiehlt es sich, von den glühenden Kohlen vermittelst einer mässig vergrössernden Linse ein vergrössertes Bild auf einem weissen Schirme darzustellen; man kann dann alle Einzelheiten des Flammenbogens und der Kohlen ohne Anstrengung des Auges sogar aus einiger Entfernung vom Schirme deutlich und leicht beobachten. Dass bei dieser Anordnung der Beobachtungsraum nahezu dunkel und die elektrische Lampe in einer das Licht allseitig abschliessenden Laterne eingeschlossen sein muss, welche nur an der dem Schirme zugekehrten Seite mit einer kreisrunden Oeffnung versehen ist, versteht sich von selbst. Hat man auf diese Weise das Bild, Fig. 244, des Flammenbogens vor sich, wobei in Folge der mehr als hundertfachen Vergrösserung die zugespitzten Enden der Kohlenstäbchen in der Länge von 2m erscheinen, so ist es leicht, die Veränderungen, welche an ihnen vorgehen, zu beobachten.

91. Das Bild des Lichtbogens. Man sieht auf den ersten Blick, dass das intensivste Licht nicht von dem zwischen den Kohlenspitzen hin- und herzitternden Flammenbogen, sondern von den weissglühenden Kohlen ausgestrahlt wird, dass die positive Kohle sehr bald ihre Spitze verliert und sich zu einer kraterförmigen Höhlung nach Art eines umgekehrten Hutpilzes abstumpft, und dass sehr intensiv leuchtende Partikelchen von derselben zur negativen Kohle überfliegen. Dadurch nimmt die negative Kohle etwas zu und wird durch die Ansammlung von Kohlenpartikelchen, die von der positiven Kohle herkommen, mit einem rundlichen hutförmigen Schildchen bedeckt. Indessen zeigen sowohl das Bild des Flammenbogens auf dem Schirme als auch directe Versuche durch Abwägen der Kohlenstäbchen, dass auch von der negativen Kohle glühende Partikelchen

Digitized by Google

mit Heftigkeit zu der positiven übergeführt, ja, dass von beiden Kohlen nach allen Richtungen hin kleine glühende Theilchen in den Raum geschleudert werden.[1]) Wenn die

Fig. 244.

Der Volta'sche Flammen- oder Lichtbogen.

1) Ein Ueberführen von weissglühenden Partikelchen von einer Elektrode zur anderen zeigen auch die Metalle, wenn man diese statt der Kohle zur Erzeugung eines Flammenbogens anwendet. Nicht bloss nimmt dann der Bogen die Farbe der glühenden Metalltheilchen an, sondern die Spektral-Analyse weist auch ihr Vorhandensein in allen Theilen des Lichtbogens unzweifelhaft nach.

Digitized by Google

Kohlen nicht besonders präparirt und nicht sehr rein sind, so sieht man, wie kleine Kügelchen auf der Oberfläche der Kohlenstäbchen kochend hin- und herlaufen; es sind das Kügelchen von schmelzender Kieselerde, welche selbst in den gereinigten Kohlenstäbchen selten ganz fehlen, durch ihre leichte Beweglichkeit dem Lichtbogen eine Art flackernder Bewegung geben und, da sie nicht glühen, der Intensität des Lichtes Abbruch thun. Gerathen diese Theilchen bei ihrer unruhigen Bewegung auf den heissesten Theil der Kohlenstäbchen, wo mit der Weissgluth zugleich das stärkste Licht entwickelt wird, so gibt sich ihre lebhafte Bewegung durch ein Zischen und durch eine plötzliche Abnahme des Lichtes zu erkennen.

In der Hitze des Flammenbogens verbrennen die Kohlenstäbchen in der freien Luft ziemlich schnell und der Abstand ihrer Spitzen wird immer grösser, bis schliesslich der Lichtbogen verschwindet.

92. Die Temperatur des Lichtbogens und der Kohlen. Erzeugt man den *Volta*'schen Flammenbogen zwischen zwei Kohlenstäbchen, so nutzt sich die positive Kohle in gleicher Zeit ungefähr doppelt so stark ab als die negative, was ohne Zweifel darin seinen Grund hat, dass die Temperatur der positiven Kohle bedeutend höher ist als die der negativen. Letzteres zeigt sich schon daran, dass im Flammenbogen die negative Kohle nur noch in einer kleinen Entfernung von dem Lichtbogen dunkelroth glühend erscheint, wogegen die positive Kohle sogar in beträchtlicher Entfernung vom Bogen noch hellroth glüht.

E. Becquerel[1]) hatte die Temperatur des durch 80 *Bunsen*'sche Elemente erzeugten Lichtbogens zwischen 2070 und 2100° *C.* gefunden, indem er annahm, dass die Helligkeit desselben proportional mit der Wärmestrahlung entsprechend

1) Annalen der Chemie und Physik. LVIII, p. 149, 1880.

Digitized by Google

dem Gesetz von *Dulong-Petit* wachse; eine bei hohen Temperaturen nicht ganz richtige Annahme. *Rosetti* stellte daher neue Versuche an, warf die von einer bestimmten Oberfläche der Elektroden kommenden Wärmestrahlen direct auf eine mit einem astatischen Spiegel-Galvanometer verbundene Thermosäule und bestimmte so die Temperatur derselben.[1]) Aus einer Reihe von Versuchen mit bis zu 160 *Bunsen'*schen Elementen ergab sich an der Lampe von *Duboscq*: Die Temperatur der positiven Kohle liegt zwischen 2400 und 3900°; sie ist um so höher, je kleiner die strahlende Fläche ist, vorausgesetzt, dass diese Fläche die extreme Spitze enthält; die Temperatur der negativen Elektrode schwankt zwischen 2138 und 2530°. Demnach dürften die Temperaturen der äussersten Spitzen der beiden Elektroden in der Praxis nicht unter 2500° und 3900° liegen.

Bei wachsenden Zahlen n der zur Säule verbundenen Elemente, resp. der Strom-Intensitäten i wächst die Temperatur des gesammten Bogens wie folgt:

n =	50	60	70	80
i =	26	71	39,2	57
t =	2190	2334	2536	2784° C[2])

Diese Angaben beziehen sich auf den Fall, dass die Elektroden gleichen Durchmesser haben; durch Vergrösserung der einen oder anderen Elektrode des Lichtbogens nimmt aber die Temperatur-Erhöhung der einen ab, die der anderen zu; namentlich wenn die negative Elektrode gross ist, wird die Temperatur an der positiven sehr hoch.

93. Die Länge des Lichtbogens. Die Intensität des von dem Flammenbogen ausgestrahlten Lichtes hängt bei denselben Kohlenstäbchen von der Stärke des Stromes und von der Grösse des Lichtbogens ab, letztere aber ist wesentlich von

1) Siehe *Wiedemann's* Annalen; Beiblätter 3, p. 822.

2) Vgl. *F. E. Gatehouse.* Nature XIX, p. 37.

Digitized by Google

der Spannung des elektrischen Stromes und von der Quantität der in Bewegung gesetzten Elektricität bedingt; ausserdem hängt diese Lichtstärke noch von dem Medium ab, in welchem sich der Lichtbogen bildet.

Davy, der im Jahre 1813 zuerst das elektrische Kohlenlicht darstellte,[1]) wandte dazu eine Batterie von 2000 Zink-Kupfer-Elementen von je 200qcm Fläche an und erhielt einen Lichtbogen von 11cm in der freien Luft und von 18cm im luftleeren Raume. Nach den Versuchen von *Depres* ist der Lichtbogen einer Batterie von 100 *Bunsen*'schen Elementen fast viermal so lang als der von 50 Elementen; der Lichtbogen von 200 Elementen ist jedoch noch nicht dreimal so lang als der von 100 Elementen, 600 Elemente geben dagegen einen fast $7^1/_2$ mal so langen Bogen wie 100 Elemente. Bei 600 Elementen betrug die Länge des Lichtbogens 20cm, wenn sie hintereinander (auf Spannung) verbunden waren und die positive Kohle sich oben befand. Es wächst hiernach die Länge des Bogens rascher als die Zahl der Batterie-Elemente, jedoch ist dieser Zuwachs für die kleinen Lichtbogen stärker als für die grossen. Verbindet man die Elemente nebeneinander (auf Quantität), so wächst der Lichtbogen langsamer als die Zahl der Elemente; bei 100 nebeneinander verbundenen Elementen war der Bogen 25mm lang, dagegen bei 600 Elementen nur 69mm, wenn dieselben in 6 Reihen zu je 100 verbunden waren, und 183mm, wenn sie sämmtlich in einer Reihe hintereinander auf Spannung gekuppelt wurden. Befindet sich die positive Kohle unten, so ist der Bogen nicht so lang, als wenn sie oberhalb der negativen Kohle steht. Mit

1) Schon im Jahre 1800 entdeckte Davy, dass zwischen zwei Kohlenstücken, welche mit den Polen einer Voltasäule verbunden sind, Funken überspringen, wenn dieselben zur Berührung einander genähert und nachher wieder von einander entfernt werden. (Nicholson Journal Oct. 1800, p. 150.)

Digitized by Google

6 Reihen von je 100 Elementen, die auf Quantität gekuppelt sind, erhält man einen Lichtbogen von 74mm, wenn die positive Kohle oben ist, dagegen nur von 56mm, wenn sie unten ist. Gibt man den Kohlenstäbchen eine horizontale Lage, so ist der Lichtbogen kürzer, als bei vertical gestellten Kohlen, und es ist in diesem Falle am vortheilhaftesten, die Elemente auf Quantität zu verbinden. So gaben 6 nebeneinander verbundene Reihen von je 100 Elementen einen horizontalen Bogen von 40mm Länge, während 600 hintereinander verbundene Elemente einen horizontalen Bogen von nur 27mm lieferten.

94. Widerstand und elektromotorische Kraft des Lichtbogens. Es ergibt sich aus den Versuchen von *Deprez*, dass diejenigen, welche sich in früherer Zeit behufs der Erzeugung des elektrischen Lichtes mit der Construction von grossen magnet-elektrischen Maschinen befassten, im Irrthume sich befanden und daher nicht zum Ziele gelangen konnten, so lange sie bloss darauf bedacht waren, eine reiche Fülle von Elektricität zu produciren und Ströme von grosser Quantität, aber von geringer Spannung zu erzeugen. Der Lichtbogen bildet nämlich einen Theil des die Pole der Batterie oder der elektrischen Maschine verbindenden Schliessungsdrahtes, und er setzt, da er das metallische Continuum der Leitung unterbricht und nur aus Gasen und glühenden, von einander getrennten Kohlenpartikelchen besteht, dem Durchgange der Elektricität einen sehr grossen Widerstand entgegen, zu diesem Leitungswiderstande gesellt sich noch ein activer Widerstand, welcher mit der Polarisation eines *Volta*meters verglichen werden kann, wonach das elektrische Licht eine elektromotorische Gegenkraft entwickelt. Auf diese machte zuerst *Edlund*[1]) aufmerksam; derselbe maass nämlich den Gesammtwiderstand des Bogens bei verschiedenen

1) *Poggendorf's* Annalen, Bd. LXXXIII, CXXXIII.

Digitized by Google

Längen desselben und fand, dass der Widerstand des Lichtbogens sich mit zunehmender Länge vergrösserte, dass derselbe aber nicht einfach der Länge des Bogens proportional war, sondern sich durch eine Gleichung von der Form

$$w = a + b \cdot l$$

darstellen liess, worin a und b zwei Constanten und l die Länge des Lichtbogens bedeuten. So ergab sich bei einem Versuche, als die Längen des Lichtbogens waren:

5	Scalentheile	= 2,0mm,	der	Widerstand	zu	7,8,
4	„	= 1,6 „	„	„	„	7,6,
3	„	= 1,2 „	„	„	„	7,3,
2	„	= 0,8 „	„	„	„	7,1,
1	„	= 0,4 „	„	„	„	6,9,

somit $w = 6{,}74 + 0{,}2 \cdot l$,

wenn die Länge in Scalentheilen ausgedrückt ist.

Nahe lag die Annahme, dass die Grösse $b\,l$ den eigentlichen Leitungswiderstand repräsentirt, da sie der Länge des Bogens proportional ist, hingegen abnimmt, sobald die Stromstärke und mit dieser die Temperatur der Elektroden bezw. die Masse der abgerissenen Kohlenpartikelchen zwischen den Elektroden zunimmt — kurz, da sie dem *Ohm*'schen Gesetze bezüglich des Leitungswiderstandes eines Leiters folgt.

Die von der Länge des Bogens unabhängige Grösse a aber kann einen doppelten Grund haben; es kann nämlich bei Herstellung des Lichtbogens entweder ein Uebergangswiderstand bei dem Uebergange der Elektricität aus den festen Theilen des Leiters in die Luft vorhanden sein, oder es kann im Bogen selbst eine elektromotorische Kraft auftreten, welche einen dem ursprünglichen entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt und dadurch den Strom schwächt.

Zu der letzteren Annahme führten *Edlund* jedoch theoretische Gründe. Er geht nämlich davon aus, dass der

Digitized by Google

Lichtbogen durch eine Zerstäubung der Polspitzen zu Stande kommt, und bemerkt, dass die Zerstäubung eine mechanische Arbeit erfordere. Mit dieser Arbeitsleistung muss aber die in dem ganzen Stromkreise entwickelte Wärmemenge kleiner werden, und das ist nur dann möglich, wenn unabhängig von dem im Lichtbogen neu auftretenden Widerstande eine Schwächung des Stromes eintritt. Denn würde der Strom nur nach Maassgabe des eingeschalteten Widerstandes geschwächt, so würde bei der Ueberwindung des Widerstandes eine demselben proportionale Wärmemenge entwickelt, die gesammte Wärmemenge wäre also nicht kleiner. Desshalb schliesst *Edlund*, dass die von der Länge des Lichtbogens unabhängige Schwächung des Stromes in dem Auftreten einer elektromotorischen Gegenkraft ihren Grund habe, welche den Strom der mechanischen Arbeit entsprechend schwäche und damit die entwickelte Wärmemenge absolut kleiner werden lasse.

Den Werth der elektromotorischen Gegenkraft findet dann *Edlund*, sobald die Stromstärke eine gewisse Grenze hat, unabhängig von der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft des zur Erzeugung des Lichtbogens verwandten Stromes, dagegen abhängig von der Natur der Spitzen, zwischen denen der Lichtbogen entsteht; sie ist kleiner, wenn der Lichtbogen zwischen Kupfer, als wenn er zwischen harter Kohle erscheint.

Es zeigte nun bereits im Jahre 1852 *Wartmann*, dass, wenn man während eines merklichen Bruchtheils einer Secunde, sogar $^1/_{10}$, den Durchgang des Stromes unterbricht und ihn dann wiederherstellt, der Bogen von Neuem entstehen kann, ohne dass man nöthig hat, die Pole bis zur Berührung einander zu nähern. Diese Thatsache erklärt sich sehr leicht, wenn man bedenkt, dass der Kohlendampf, welcher der Hauptsache nach den Bogen bildet, noch einige Zeit nach dem Aufhören des Stromes bestehen kann, und

Digitized by Google

dass auch die warmen Gase, welche die Kohle umgeben, Leiter sind.

Resultirt daher vom Durchgang des Stromes zwischen den beiden Kohlen eine elektromotorische Gegenkraft, so muss dieselbe auch noch einige Zeit, nachdem der Strom aufgehört hat, bestehen und so lange im Galvanometer nachgewiesen werden können, als zwischen den noch warmen Kohlen ein leitendes Medium existirt.

Diese Thatsache benutzte *Edlund*, das Vorhandensein der elektromotorischen Kraft in dem Lichtbogen direct nachzuweisen. Der Lichtbogen wurde zu dem Zwecke in eine Zweigleitung eingeschaltet, welche ein Galvanometer enthielt und welche durch eine hebelartige Vorrichtung in dem Momente geschlossen werden konnte, in welchem eben durch das Umschlagen dieses Hebels der den Lichtbogen erzeugende Strom unterbrochen wurde. Kräftige Ausschläge in dem Galvanometer bewiesen thatsächlich, dass die Zweigleitung von einem Strome durchflossen wurde, welcher nach *Le Roux* sogar noch nach $^3/_{10}$ Secunden nachweisbar ist. Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dass der Lichtbogen eine elektromotorische Gegenkraft entwickelt.

Edlund fand dieselbe in einem Falle, wo er mit einer Batterie von 26 *Bunsen*'schen Elementen experimentirte, gleich 9,7 *Bunsen;* bei Anwendung einer stärkeren Batterie fand er sie zu 15 *Bunsen.*

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dass wohl unterschieden werden muss, ob der gesammte Widerstand oder aber nur der Leitungswiderstand bezw. die elektromotorische Kraft des Lichtbogens gemeint sind. Die Grössen, welche sich auf die letzteren beziehen, sind insofern von grosser Wichtigkeit, als auf ihnen die rationelle Anfertigung der dynamo-elektrischen Maschinen,[1]) bezw. die Wickelung des Inductors beruht.

1) Vgl. Seite 202.

Digitized by Google

Leider sind die Grössen einstweilen fast unbekannt; erst jüngst sind dieselben für einen Fall von *M. Burstyn* nach folgender Methode festgesetzt worden.

Eine *Gramme*'sche Maschine (Type *C*), deren Constanten zuvor sorgfältig ermittelt worden sind, wurde mit einer Lampe zu einem Stromkreise geschlossen.

Es wurde zunächst bei einem Kabelwiderstande r und eingeschalteter Lampe die Stromstärke (S) gemessen; hierauf wurde ein grösserer Kabelwiderstand r_1 nebst Lampe in den Stromkreis geschaltet und bei sorgfältig eingehaltener Kohlendistanz und genau gleicher Tourenzahl des Inductors abermals die Stromstärke (S_1) gemessen. Die Stromstärkemessungen wurden jedesmal wiederholt durchgeführt und das Mittel aus den Ergebnissen genommen. Zu den Stromstärke-Messungen diente eine *Obach*'sche Tangenten-Bussole. Es wurde darauf geachtet, dass das Licht während der Messungen ruhig und geräuschlos brannte.

Ist der Widerstand der Maschine ϱ und jener der Lampe x, und setzt man

$$r + \varrho = w,$$
$$r_1 + \varrho = w_1,$$

so gelten folgende Gleichungen, wenn P die elektromotorische Kraft der Polarisation im Lichtbogen und E die elektromotorische Kraft der Maschine bei der betreffenden Tourenzahl bedeutet:

$$S = \frac{E - P}{w + x} \text{ und } S_1 = \frac{E - P}{w_1 + x},$$

woraus

$$x = \frac{S_1 w_1 - S w}{S - S_1}$$

als Lampenwiderstand und

$$P = \frac{E(S - S_1) + S S_1 (w - w_1)}{S - S_1}$$

als elektromotorische Kraft der Polarisation folgt.

Digitized by Google

Es war nun:

$$\varrho = 0{,}855 \text{ S. E.}$$
$$r = 0{,}195 \text{ „}$$
$$r_1 = 0{,}775 \text{ „}$$

woraus $w = 1{,}050$ „

und $w_1 = 1{,}630$ „

Der Inductor machte in beiden Fällen 750 Touren, und wurde die elektromotorische Kraft der Maschine bei dieser Tourenzahl zuvor mit $E = 1214{,}5$ *Jacobi* × *Siemens*[1]) gefunden.

Die Stromstärke-Messungen ergaben nun:

$$S = 564{,}1 \text{ } Jac.,$$
$$S_1 = 415{,}3 \text{ „}$$

Daraus berechnet sich $x = 0{,}57$ S. E. und $P = 302$ *Jac.-S.*

Bei einem zweiten Versuche mit derselben Maschine waren r und r_1 wie früher. Die Tourenzahl wurde auf 780 erhöht und die elektromotorische Kraft der Maschine bei dieser Tourenzahl mit $E = 1280$ *Jac.-S.* gemessen. Bei diesem Versuche wurde gefunden:

$$S = 576{,}5 \text{ } Jac.,$$
$$S_1 = 425{,}0 \text{ „}$$

woraus sich $x = 0{,}578$ S. E. und $P = 342$ *Jac.-S.* berechnet.

Als Mittel aus beiden Versuchen folgt:

$x = 0{,}574$ S. E. $= 0{,}547$ *Ohm* als Widerstand im Lichtbogen und

$P = 322$ *Jac.-S.* $= 2{,}995$ *Volt* als elektromotorische Kraft im Lichtbogen.

Weitere solcher Messungen sind uns unbekannt; wie schon angedeutet, ist es sehr wünschenswerth, dass dieselben in grösserer Anzahl angestellt werden, damit ein klarer Einblick in diejenigen Gesetze gewonnen wird, welchen die

1) *Jacobi* × *Siemens* = 0,00974 *Ampère* × 0,9537 *Ohm* = 0,0093 *Volt*.

Digitized by Google

elektromotorische Kraft sowie der Leitungswiderstand des Lichtbogens unterliegen.

In grösserer Anzahl liegen Messungen vor, welche den Gesammtwiderstand des Lichtbogens ausdrücken, wonach in demselben Ausdrucke der Leitungswiderstand des Bogens und die der Stromquelle entgegengesetzt wirkende, durch einen gleichwerthigen Widerstand ersetzte elektromotorische Kraft vereinigt werden; dieselben gehen aus der folgenden Tabelle hervor. Aus dieser Tabelle ergibt sich, dass der Gesammtwiderstand des Bogens mit den Widerständen in der Leitung zuzunehmen, bezw. mit wachsender Intensität abzunehmen scheint.

Namen der Physiker.	Elektromotorische Kraft der *E.*-Quelle in *Volt.*	Elektricitäts-Quelle.	Widerstand derselben in *Ohm.*	Widerstand des Bogens in *Ohm.*	Intensität des Stromes in *Ampère.*
W. Thomson .	79	79 *Daniell-Thomson*'sche Elemente.	7,9	5	—
Thomson und *Houston* . .	79	Dynamoelektrische Maschine.	—	2,77 1,25 1,67 0,54	10 16,5 21,5 30,12
		Grove.			
Ayrton und *Perry* . .	108	69	12	12	—
	144	80	16	20	—
	219	122	24,4	30	—
				1,97	16,27
Schwendler .	—	—	—	1,72	23,87
				0,91	28,81

In naher Beziehung zu diesen Resultaten steht auch die Erscheinung, dass, wie u. A. jüngst noch *Siemens* zeigte,[1]) die Leitungsfähigkeit der Kohlenstäbe mit steigender Tem-

1) Monatsschrift der Berliner Akademie 1880, p. 1. Vgl. auch *Wiedemann's* Annalen 1880, Bd. 11, p. 1041; Bd. 12, p. 65; Bd. 13, p. 307.

Digitized by Google

peratur zunimmt; die mittlere Widerstandsabnahme beträgt für 1° 0,000331. Die bessere Leitungsfähigkeit der Kohle bei höherer Temperatur erklärt *Siemens* durch die Annahme, dass die Kohle, wie krystallinisches Selen, eine latente Wärme enthaltende allotrope Modification eines hypothetischen metallischen Kohlenstoffes ist. Wird danach der Kohlenstoff durch den elektrischen Strom in metallischer Form fortgeführt, so wird die latente Wärme der Kohle an der Trennungsfläche frei, letztere also vorzugsweise erhitzt. Das Losreissen der Kohlenpartikelchen ist es demnach, was das Licht wesentlich erzeugt. Da nun bei Weitem mehr glühende Partikelchen von der positiven zur negativen, als von der negativen zur positiven Elektrode übergeführt werden, so muss auch die positive Elektrode eine höhere Temperatur als die negative haben (vgl. S. 396) und dementsprechend am hellsten leuchten.

Zur Ueberwindung des von den Kohlen bezw. dem Lichtbogen geleisteten Widerstandes ist nun eine gewisse

95. Spannung des Stromes erforderlich. Hiermit soll nicht gesagt sein, dass zur Erzeugung eines intensiven Lichtbogens eine geringe Quantität der Elektricität hinreiche; es ist im Gegentheil eine sehr bedeutende Fülle von Elektricität dazu erforderlich, um die Kohlenstäbchen bis zu dem Grade weissglühend zu machen, dass ihre Partikelchen nur noch lose zusammenhangen und leicht von einer Kohle zur anderen übergeführt werden können. Man könnte sagen, dass die Quantität der in Bewegung zu setzenden Elektricität sehr gross sein müsse, um die Kohlen in Weissgluth zu versetzen und einen Lichtbogen von einiger Länge zu erzeugen, dass aber andererseits auch die Spannung des Stromes gross sein müsse, um den von dem Bogen gebildeten erheblichen Widerstand überwinden zu können.

In letzter Zeit hat sich *Frölich*[1]) damit beschäftigt, die

1) Elektrotechnische Zeitschrift, IV, p. 153. 1883.

Digitized by Google

zur Erregung des elektrischen Lichtbogens von gewisser Länge nöthige Spannung zu bestimmen. Aus einer Zusammenstellung von Beobachtungen, die zu verschiedenen Zeiten von verschiedenen Beobachtern und mit verschiedenen Mess-Instrumenten im Etablissement von *Siemens & Halske* angestellt worden, ist zu ersehen, dass die Spannungsdifferenz S des Lichtbogens, an den beiden Kohlen gemessen, von der Länge des Lichtbogens abhängig ist, und zwar proportional mit diesem wächst. Sind a und b Coefficienten und L die Bogenlänge, so ist

$$S = a - b\,L,$$

und wenn die Spannung in *Volt*, die Bogenlänge in Millimeter gemessen wird,

$$S = 39 + 1{,}8\,L.$$

Der scheinbare Widerstand W des Lichtbogens, der auch eine elektromotorische Kraft sein kann, ergibt sich unmittelbar aus der Spannung, indem man dieselbe durch die Stromstärke J dividirt; es ist also

$$W = \frac{S}{J} = \frac{a}{J} + b\frac{L}{J},$$

oder in Zahlen

$$W = \frac{39}{J} + 1{,}8\,\frac{L}{J}.$$

Für die im Lichtbogen geleistete Arbeit A folgt

$$A = S \,.\, J = (a + b\,L)\,J.$$

Dieselbe ist also proportional der Stromstärke. Da nun diese Arbeit zum Theil in Licht und Wärme verwandelt wird, so schliesst *Frölich* daraus, dass auch die Lichtstärke proportional der Stromstärke sei. Doch muss man berücksichtigen, dass das Emissionsvermögen aller Körper für Licht mit steigender Temperatur sehr viel rascher wächst als für Wärme, und dass das gesammte Emissionsvermögen wächst mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur (Stefan). Der Schluss von *Frölich* kann daher nur für Lichtbogen mit gleicher Temperatur vielleicht richtig sein.

Digitized by Google

Wir fügen am Schluss des Werkes eine Tabelle bei, welche für verschiedene Bogenlängen die entsprechenden Spannungen und den scheinbaren Widerstand des Lichtbogens für verschiedene Stromstärken nach obigen Formeln berechnet enthält. Den scheinbaren Widerstand W in wirklichen Widerstand und elektromotorische Kraft zu trennen, gelang *Frölich* nicht.

Die grosse Menge Elektricität wird in den Batterien durch den Verbrauch an Zink und durch die chemische Energie erzeugt, mit welcher die Bestandtheile der Elemente auf einander einwirken; sie wächst daher auch mit der Vergrösserung der Elemente, während die Spannung mit der Anzahl der letzteren zunimmt. In den elektrischen Maschinen sind es die magnetischen, auf die rotirenden Drähte inducirend wirkenden Kräfte, sowie die Grösse der zur Rotation der Inductoren aufgewandten mechanischen Arbeit, welche die in Bewegung zu versetzende Elektricität in die Leitung schaffen, wobei ein beständiges Umsetzen von Massenarbeit in diejenige uns noch nicht bekannte Form von Molekular-Arbeit vor sich geht, welche wir Magnetismus und Elektricität nennen. Dass die Dicke und die Länge der für die Inductorrollen anzuwendenden Kupferdrähte dabei eine grosse Rolle spielen, lehrt die Erfahrung, und es lässt sich im Allgemeinen sagen, dass der Quantität der Elektricität kurze Drähte von grossem Querschnitte entsprechen, um der durch den Aufwand der mechanischen Arbeit erzeugten Elektricitätsmenge einen leichten Durchgang zu gestatten, wogegen lange und dünne Drähte diesen Durchgang hemmen und dadurch eine Art von Aufstauung und von Spannung hervorbringen.

Es unterliegt auch wohl keinem Zweifel, dass die Summe der molekularen Bewegungen, welche sich im Bogen in den Formen der Wärme und des Lichtes zu erkennen geben, sowie der Massenbewegung der von den Kohlen nach allen

Digitized by Google

Richtungen weggeschleuderten Kohlenpartikelchen äquivalent ist der Summe aller zur Erzeugung des Stromes aufgewendeten molekularen und Massenarbeit; es ist jedoch zur Zeit noch nicht möglich, alle Einzelheiten, welche bei der verschiedenen Erzeugungsweise des galvanischen Stromes mitwirken, in Bezug auf die Umsetzung der Bewegungsformen nach Aequivalenten zu beurtheilen.

In dieser Beziehung bemerkt *Le Roux* mit Recht, dass es sich bei der Beurtheilung der zur Erzeugung des elektrischen Lichtes mitwirkenden Factoren zur Zeit nicht darum handle, zu untersuchen, ob in den Lichtmaschinen die zum Betriebe derselben erforderliche Kohlenmenge unter dem Kessel der Dampfmaschine auf das Vortheilhafteste ausgenutzt werde, sondern darum, ob es möglich ist, durch irgend ein anderes Mittel eine ebenso grosse Menge von Wärme und Licht in einem so kleinen Raume zu concentriren, und von diesem Gesichtspuncte aus lässt der *Volta*'sche Flammenbogen alle anderen Methoden der Erzeugung starker Lichtquellen weit hinter sich.

Eine gute Dampfmaschine leistet eine Arbeit von einer Pferdekraft bei einem Kohlenverbrauche von 1kg per Stunde, und mit diesem Kraftaufwande gibt eine *Gramme*'sche Maschine den Strom für eine Lichtstärke von 800 Kerzen. Verwendet man dagegen das 1kg Kohle zur Gaserzeugung, so erhält man etwa 0,28cbm Leuchtgas, dessen Verbrennung in einer Stunde nur eine Lichtstärke von 25 Kerzen erzeugt.

Nimmt man an, dass bei der Gasbereitung 50% der aufgewandten Kohle als Coaks zurückbleiben, so beträgt der Verbrauch an Kohle bei der Gasbereitung, um eine Lichtstärke von 800 Kerzen zu erzielen, 16kg, während bei der *Gramme*'schen Maschine dieses Licht durch den Aufwand von 1kg erzeugt wird.

96. Photometrische Messungen. Die Angaben über die

Digitized by Google

in Carcel-Brennern oder in anderen Licht-Einheiten ausgedrückten Lichtstärken des elektrischen Bogens sind natürlich sehr verschieden, weil sie durch die sehr verschiedenen Stärken des elektrischen Stromes bedingt sind. *Tresca* fand die Lichtstärke einer grossen *Gramme*'schen Maschine bei 1000 Touren in der Minute unter Anwendung einer *Serrin*'schen Lampe (§. 103) gleich 1860 Carcel-Brennern oder 14 136 Paraffinkerzen. „Von einer solchen Lichtmenge", sagt *Jamin*, „kann man sich einigermaassen eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, dass man, um ein gleiches Licht zu erzeugen, 78kg oder nahezu 100*l* Oel, oder auch eine Quantität Leuchtgas in der Stunde verbrennen muss, welche einen Ballon von 9m Durchmesser ausfüllt."

Die grossen Lichtmaschinen der neuesten Zeit gehen noch sehr viel weiter; *Siemens-Halske's* grosse Maschine lieferte bei monatelangen Probebeleuchtungen an der englischen Küste bei verdichtetem Strahle eine Lichtstärke von 14 818 Normalkerzen, und nach *Fontaine* hat *Gramme* eine Lichtmaschine von 5000 Bec Carcel oder 38 000 Normalkerzen gebaut. Lichtstärken von so enormer Grösse zu erzeugen, hat nur in ganz besonderen Fällen eine praktische Bedeutung; gegenwärtig geht man durch Theilung des elektrischen Stromes in der Lichtstärke bedeutend herunter und erzeugt jetzt vielfach elektrische Lichter, deren Stärke nicht grösser ist als 50 Carcel-Brenner und weniger.

Wenn man das Licht des elektrischen Flammenbogens durch eine bestimmte Anzahl von Licht-Einheiten, z. B. durch 1000 Normalkerzen, ausdrückt, so darf man nicht glauben, dass man eine solche Zahl von Kerzenflammen nur dicht zusammenzustellen brauche, um einen gleichen Effect zu haben, den das elektrische Licht gewährt. Die Gruppe von 1000 Paraffinkerzen würde wohl eine gleiche Lichtmenge ausgeben als der Flammenbogen, aber es würde ihr der das Auge blendende Glanz fehlen, welchen wir an

Digitized by Google

dem elektrischen Lichte wahrnehmen, und den auch die Sonne zeigt.

Der grössere oder geringere Glanz eines Lichtes hängt nämlich nicht bloss von der Menge des ausgestrahlten Lichtes ab, sondern auch von der Grösse der Fläche, welche diese Lichtmenge abgibt. Könnte man alles von einer Kerze ausgestrahlte Licht auf einen einzigen leuchtenden Punct concentriren, so hätte man in diesem Puncte den höchsten Glanz, dessen diese Kerze fähig wäre; umgekehrt vermindert man den Glanz eines intensiven Lichtes, wenn man das von letzterem ausgestrahlte Licht nicht direct in das Auge gelangen lässt, sondern mit demselben zunächst eine grössere Fläche, z. B. eine Milchglasglocke, beleuchtet und dann diese grössere Fläche betrachtet.

Wenn zwei Lichtquellen von gleicher Oberfläche gleiche Lichtmengen ausstrahlen, so sagt man, sie haben gleichen Glanz; wenn dagegen die eine 2-, 3-, ... 100mal so viel Licht aussendet, als die andere, so sagt man, die erstere habe einen 2-, 3-, ... 100mal so grossen Glanz als die letztere. Bei jedem Vergleiche zweier Lichter in Bezug auf ihren Glanz wird daher vorausgesetzt, dass die lichtgebenden Oberflächen gleich gross sind. Obgleich der Mond sicher eine grössere Lichtmenge aussendet als eine Kerze, so ist doch der Glanz des Mondes weit geringer als der der Kerze.

Um auf Leuchtthürmen den Glanz der Lampe zu erhöhen, construirte *Fresnel* Lampen mit mehreren Dochten, von denen jeder äussere die inneren ringförmig umgab; die Dochte blieben so weit von einander entfernt, dass die Luft zwischen ihnen frei circuliren und so eine lebhafte Verbrennung des Oeles in allen Dochten unterhalten werden konnte. Auf diese Weise wurde das Licht aller Dochte auf eine kleine Oberfläche, welche dem äussersten Dochte entsprach, concentrirt, und der Glanz ihrer Flamme würde bei

Digitized by Google

sechs in einander steckenden Dochten sechsmal so gross gewesen sein als bei einem Dochte, wenn die Flammen alle vollständig transparent gewesen wären. Dieses ist jedoch nicht der Fall, vielmehr absorbirt jede äussere Flamme etwas von dem Lichte, welches von den inneren Flammen ausgestrahlt wird, und nach *Allard* ist der Glanz des Lichtes bei fünf Dochten nur dreimal so gross als bei einem Dochte. Ebenderselbe fand auch, dass das von ihm angewandte elektrische Licht 255mal so viel Glanz hatte als die fünf Dochte einer *Fresnel*'schen Lampe und einen 600mal so grossen Glanz besass als eine eindochtige Lampe.

Das Licht des elektrischen Flammenbogens übertrifft hiernach sowohl an Stärke wie an Glanz bei Weitem alle Lichtarten, welche man sonst zu Beleuchtungszwecken angewandt hat, und hält sogar in Bezug auf seinen Glanz den Vergleich mit der Sonne aus.

Nach den Messungen von *Foucault* und *Fizeau* war die Intensität eines kräftigen elektrischen Lichtes $^1/_2$, wenn man das an einem klaren Sonnentage von der Sonne uns zugesandte Licht durch 1 bezeichnete; die Intensität des *Drummond*'schen Kalklichtes betrug nur $\frac{66}{10000}$ und des Mondlichtes nur $\frac{8}{1000000}$. Die Sonne selbst verbreitete auf eine gegebene Fläche so viel Licht als 5774 in einer Entfernung von 33cm von der Fläche aufgestellte Kerzen. Bei diesen Angaben handelt es sich natürlich nur um das Lichtausstrahlungsvermögen einer bestimmten Fläche (Quadratmeter) des leuchtenden Körpers und nicht um die totale ausgestrahlte Lichtmenge. Messungen dieser Art, mögen sie nun durch die chemischen Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen auf jodirte Silberplatten oder durch Photometer geschehen, liefern der Natur der Sache nach (wie bereits oben angeführt worden ist) sehr ungleiche Resultate, was nicht bloss von der Art und Weise herrührt, wie man die Elektricität erzeugt, sondern auch daher, dass der Flammenbogen und

Digitized by Google

die das meiste Licht ausstrahlenden Kohlen in ihren verschiedenen Theilen eine sehr ungleiche und sehr veränderliche Lichtmenge entwickeln. Da die obere positive Kohle, welche das meiste Licht ausstrahlt, sich während ihres Verbrauches abstumpft und daher eine grössere leuchtende Oberfläche dem Photometer darbietet, als die untere negative Kohle, so ist es bei den Messungen der Lichtstärke durchaus nicht gleichgültig, in welche Lage man die den Lichtbogen regulirende Lampe zum Photometer bringt.

Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Resultate, welche eine mit der Vergleichung von verschiedenen elektrischen Lichtern beauftragte Commission auf den englischen Leuchtthürmen zu South Foreland und Souther Points erhalten hat.[1]) Die magnet-elektrischen Maschinen lieferten alternirende Ströme, die Spitzen beider Kohlenstäbchen brannten daher in gleicher Stärke ab und behielten beide dieselbe zugespitzte Gestalt, wie sie in Fig. 245 abgebildet ist. Um einen möglichst grossen Lichtwinkel in der verticalen Ebene zu erhalten, ist diese zugespitzte Form der Kohlen offenbar sehr vortheilhaft, da sie dem Lichte nach oben und unten eine freie Ausbreitung gestattet; in horizontaler Richtung kann dabei das Licht sich nach allen Richtungen nahezu in gleicher Weise entfalten, was jedoch in vielen Fällen für die Zwecke der Leuchtthürme nicht nöthig ist, da in der Regel der zu beleuchtende Sector der Meeresfläche nicht über 180 Grad umfasst. In solchen Fällen geht das von der Seeseite abgekehrte Licht nutzlos verloren, wenn man es nicht durch besondere optische Hülfsmittel, durch Spiegel, Linsen und Prismen nach vorne bringt.

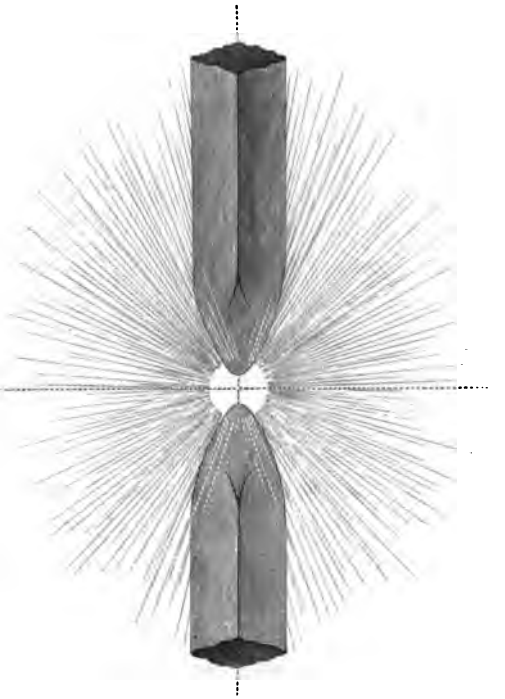
Bei Anwendung von Gleichstrom-Maschinen behält der Strom stets dieselbe Richtung, nämlich von der oberen Kohle zu der

1) Extract from Report of *Trinity House,* London. Correspondence and Reports on the subject of comparative Trials of Electric Lights at the South Foreland. London 1876—1877.

Digitized by Google

unteren. Die obere Kohle wird dann schneller verbraucht als die untere und bildet eine kraterförmig vertiefte Abstumpfung, wie

Fig. 245.



Kohlenspitzen bei Wechselströmen.

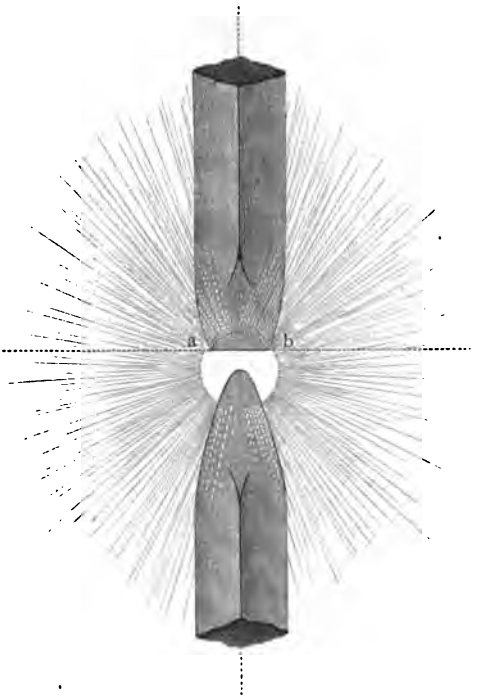
es die Figur 246 zeigt.[1]) Man sieht sofort, dass ein Theil des erzeugten Lichtes sich nicht nach oben ausbreiten und daher nicht zu den oberen Prismen des optischen Apparates gelangen kann, weil die äusseren Ränder *a b* der Kraterfläche dasselbe nicht durchlassen. Um dieses zu verhüten und eine möglichst grosse Lichtfülle nach einer

1) Bei ruhigem geräuschlosem und länger (1/2 Stunde) andauerndem Brennen eines Lichtbogens von 3/16 Zoll Länge (vergl. *Wiedemann's* Annalen, Beiblätter 4, p. 682) soll die Oberfläche des auf der positiven Kohle gebildeten Kraters nahe proportional der Strom-Intensität sein.

Digitized by Google

Seite hin zu gewinnen, werden die Kohlenspitzen nicht vertical untereinander gestellt, wie in Fig. 245, sondern derart angeordnet, dass die Achse der unteren Kohle mit

Fig. 246.



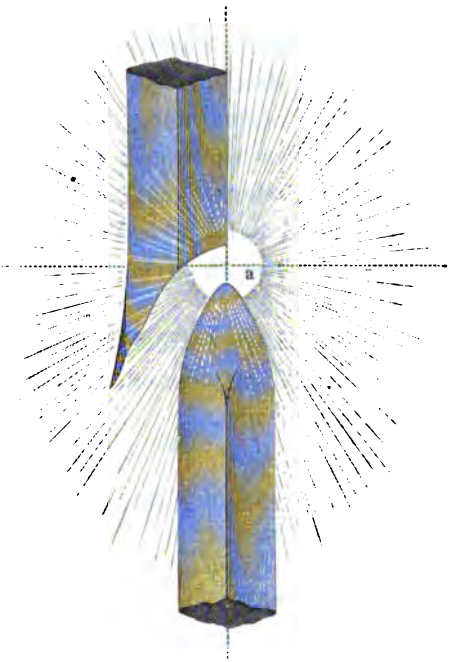
Kohlen bei gleichgerichteten Strömen.

der vorderen verticalen Kante der oberen Kohle beinahe zusammenfällt, wie es in Fig. 247 abgebildet ist. Bei dieser Anordnung gelangt eine reiche Fülle von Licht, welches von der am intensivsten glühenden oberen Kohle von grosser und seitlich gerichteter Oberfläche ausgestrahlt wird, nach einer und derselben Richtung hin; dabei ist das Licht noch weit beständiger und ruhiger als bei den anderen Anordnungen, weil der Strom durch die obere Kohle stets nach der vorderen Kante *a* gerichtet bleibt. Die Versuche ergaben, dass

Digitized by Google

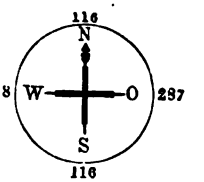
bei der letzten Stellung der beiden Kohlenstäbchen die Lichtstärke nach den verschiedenen Richtungen rund um den Flammenbogen herum sehr verschieden war. Bezeichnet man

Fig. 247.



Kohlen mit nicht zusammenfallenden Achsen.

Fig. 247b.



die Lichtstärke für den Fall, dass die Achsen der beiden Kohlenstäbe in einer und derselben verticalen Ebene liegen, mit 100, so stellen die vier Zahlen in dem Kreise (Fig. 247b.) die verschiedenen Lichtstärken in den vier Hauptrichtungen *O*, *W*, *N* und *S* rund um den Lichtbogen herum dar. Das Verhältniss der Intensitäten ist dann

nach Ost oder vorn ..... wie 287 zu 100,
„ Nord „ seitlich ..... „ 116 „ 100,
„ Süd „ seitlich ..... „ 116 „ 100,
„ West „ hinten ..... „ 38 „ 100.

Digitized by Google

Aus dem Gesagten ergibt sich bereits, warum zu gewöhnlichen Beleuchtungszwecken die Verwendung gleichgerichteter Ströme gegenüber den Wechselströmen einen erheblichen Vortheil gewährt. Derselbe entsteht dadurch, dass bei den gleichgerichteten Strömen die obere Kohle sich aushöhlt und etwa 65% der totalen Lichtmenge nach unten ausstrahlt, nur wenig Licht an Decken und Wänden verloren geht und eine gute Bodenbeleuchtung erzielt wird; während bei Wechselströmen das nach allen Richtungen zerstreute Licht erst durch Reflectoren auf den Boden geworfen werden muss. Zudem ist durch viele Versuche constatirt, dass gleichgerichtete Ströme einen geringeren Verbrauch an Kohlenstäben gewähren.

Noch deutlicher ergibt sich dieses bei dem Studium der folgenden Tabellen, welche dem Werke *Fontaine's*, „Die elektrische Beleuchtung", entnommen sind.

Tabelle I.

Lichtstärken nach verschiedenen Richtungen.

(Continuirliche Ströme.)

Ansicht von unten.		Ansicht von oben.		Bemerkungen.
Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	
0°	225	0°	225	Bei allen diesen Versuchen machte die Maschine 750 Touren, der Verbrauch an Betriebskraft war 202kgm, der Abstand beider Kohlen 3mm. Die Länge des Kabels 160m, die Abnutzung der Kohlen 0,07m per Stunde.
15°	400	15°	144	
30°	822	30°	130	
45°	1175	45°	119	
60°	1325	60°	79	
75°	1051	75°	21	
90°	0	90°	12	

„Als Mittel aus 24 Ablesungen, 12 oberhalb, 12 unterhalb der Horizontalen, fanden wir 458 Carcel-Brenner. Dies

Digitized by Google

zeigt, dass die in horizontaler Richtung gemessene Lichtstärke ziemlich genau die Hälfte der mittleren Lichtstärke nach allen Richtungen ist.

Will man demnach die Lichtstärke eines elektrischen Apparates mit continuirlichen Strömen bestimmen, so genügt es, eine photometrische Messung in der Weise zu machen, dass die Carcel-Lampe, das Photometer und das elektrische Licht sich in derselben Horizontalen befinden, und die so gewonnene Lichtstärke mit zwei zu multipliciren, das erhaltene Resultat wird dann das wahre Mittel der Lichtstärke sein.

Benutzt man an Stelle einer Maschine mit continuirlichen Strömen eine Maschine mit Wechselströmen, so erhält man sehr abweichende Resultate. Das Maximum der Intensität findet sich hier 15° unter der Horizontalen, weicht aber nur sehr wenig von der in horizontaler Richtung gemessenen Lichtstärke ab.

Im Allgemeinen sind bei gleichem Kraftaufwand die Lichtstärken in horizontaler Richtung bei Wechselströmen kleiner als bei continuirlichen Strömen; wir haben indessen in einem speciellen Fall mit einem Kraftaufwand von 205kgm 225 Carcel-Brenner, also fast genau das nämliche Resultat wie oben, erzielt. Damit endigt aber auch die Aehnlichkeit der mit beiden Arten Maschinen erzielten Resultate und die Tabelle II macht die Inferiorität der Wechselströme deutlich erkennbar.

Das Mittel aus 24 Beobachtungen ist hier 160 Carcel-Brenner, das Verhältniss der totalen Lichtstärke einer Wechselstrom-Maschine zu einer Maschine mit continuirlichem Strom ist somit 160 : 458. Die letztere liefert demnach mit demselben Aufwand an Betriebskraft dreimal so viel Licht.

Um diese Ueberlegenheit deutlich ins Auge springen zu machen, haben wir die in Fig. 248 abgebildeten Curven entworfen, welche die nach allen Richtungen erhaltenen

Digitized by Google

Tabelle II.

Lichtstärken nach verschiedenen Richtungen.

(Wechselströmen.)

Ansicht von unten.		Ansicht von oben.		Bemerkungen.
Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	Neigung des beobachteten Lichtstrahles zur Horizontalen.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.	
0	225	0	215	Die erforderliche Betriebskraft war während der ganzen Dauer der Experimente 205kgm.
15	230	15	207	
30	225	30	195	
45	207	45	180	
60	180	60	160	
75	127	75	140	
90	0	90	0	

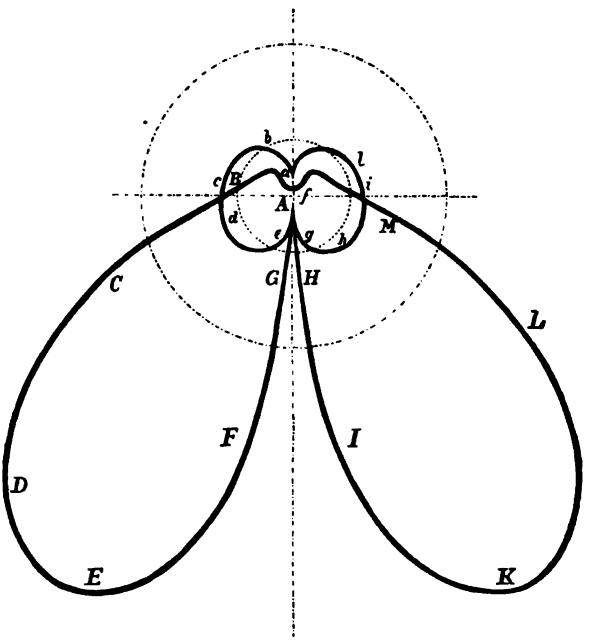
Lichtstärken graphisch darstellen. Die Linie *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *K*, *L*, *M*, *A* bezieht sich auf die continuirlichen Ströme, die Linie *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *l*, *a* auf die Wechselströme. Die punctirten Kreise entsprechen den respectiven mittleren Lichtstärken. Der Brennpunct war im Scheitelpunct beider Achsen."

Von grossem Einflusse bei photometrischen Messungen ist auch, ob die Messung näher oder weiter vom elektrischen Lichte stattfindet. In dem ersten Falle wirkt nämlich das elektrische Licht durch das Papier des Photometers hindurch und hilft so der Normalkerze, so dass man eine um so schwächere Lichtstärke erzielt, in je näherer Entfernung vom Photometer sie gemessen wird. Bedenkt man dabei, dass die gewöhnlichen Angaben nur Nominalwerthe sind, von denen man sich keine Vorstellung machen kann, so wird man Herrn *Preece* beipflichten, der in einer Versammlung gegen den Gebrauch bezw. Missbrauch der Angaben über

Digitized by Google

Licht-Intensität protestirte und vorschlug, Licht-Intensitäten durch die Fähigkeit auszudrücken, eine gewisse Bodenfläche in einem bestimmten Grade zu erhellen. Solche Angaben würden besonderen Werth erhalten, wenn eine Lampe die

Fig. 248.



Graphische Darstellung der Lichtstärken.

günstigste Stellung zur gegebenen Bodenfläche erhalten könnte. Diese ist z. B. für eine kreisförmige Bodenfläche die, dass der Lichtbogen sich in einer auf der Mitte des zu beleuchtenden Kreises errichteten Verticalen befindet, in einer Höhe, die etwa 0,7 des Radius des Kreises beträgt.[1]) In der Praxis kann jedoch in den seltensten Fällen diese Höhe angestrebt werden; man muss sich eben begnügen, die Lampe möglichst hoch zu befestigen, um so dem Maxi-

1) Z. f. a. E. II, p. 384, und III, p. 316.

Digitized by Google

mum der Helligkeit wenigstens nahe zu kommen. Für diesen Fall hat bereits *R. E. Crompton* den Vorschlag *Preece's* ausgeführt; nach seinen Angaben gibt z. B. eine Flamme, deren Lichtstärke zu 4000 N.-K. bestimmt war, bei angegebener Höhe und Grösse der zu beleuchtenden Fläche folgende Helligkeit:

Arbeit pro Flamme in Pferdekräften.	Höhe der Lampe über dem Boden in m.	Bodenfläche in qm.	Helligkeitsgrad.
2½	4,88	232	1
2½	5,49	444	1
2½	6,10	920	2
2¾	13,12	1670	2
4	12,20	6700	3
4	12,20	7400	3

wenn bei der Bestimmung die Beleuchtung der entferntesten Puncte der Bodenfläche maassgebend ist und folgende Definition der Helligkeitsgrade zu Grunde gelegt wird. „Bei dem ersten Helligkeitsgrade kann jede feine Arbeit, welche sonst eine 60 bis 90cm entfernte Gasflamme erfordert, verrichtet werden; bei dem zweiten Helligkeitsgrade kann eine Zeitung überall bequem gelesen werden; bei dem dritten Helligkeitsgrade sind die entferntesten Puncte der zu beleuchtenden Bodenfläche eben so stark beleuchtet, wie bei intensivem Mondenschein.“ Es ist nicht zu leugnen, dass bei den gemachten Angaben der Leser eine weit präcisere Vorstellung gewinnt als bei den früheren.

97. Beschaffenheit und Fabrication der Kohlenstäbe. *Davy* gebrauchte bei seinen grossartigen Versuchen über den *Volta*'schen Flammenbogen Stäbchen von Holzkohlen, welche vorher geglüht und dann in Wasser oder in Quecksilber abgelöscht waren. Aber dieselben leiteten wegen ihrer geringen Dichtigkeit den Strom schlecht, erhitzten sich ihrer

Digitized by Google

ganzen Länge nach bedeutend und verbrannten in der freien Luft sehr schnell. *Foucault* ersetzte diese vegetabilische Kohle durch eine mineralische, welche sich bei der Gasbereitung aus Kohle in den Retorten ansetzt; die Retortenkohle ist sehr dicht und fest, zerbricht oder zerbröckelt nicht leicht, erhitzt sich viel weniger, leitet den Strom besser und widersteht dem Angriffe des heissen Flammenbogens länger als die Holzkohle. Indessen hat auch die Gaskohle noch ihre Mängel; da ihre Zusammensetzung nicht gleichförmig ist, so nutzt sie sich oft unregelmässig ab und der Bogen zeigt nicht selten starke Schwankungen in der Lichtstärke.

Nach *Le Roux* rührt diese Unbeständigkeit des Lichtes hauptsächlich von fremden Beimengungen, besonders von alkalischen und erdigen Salzen und von Kieselsäure her, welche weniger feuerbeständig sind als die Kohle und daher in der Hitze des Bogens sich verflüchtigen, in Dampfform übergehen und zum grössten Theile die Flamme bilden, welche den eigentlichen, aus den glühenden Kohlentheilchen bestehenden Lichtbogen umgibt. Diese Flamme aber hat wegen ihres viel grössern Querschnittes eine niedrigere Temperatur als die glühenden Kohlentheilchen und besitzt als Gas eine verhältnissmässig geringere Leuchtkraft. Alles das erklärt die auffallende Abnahme der Licht-Intensität im Bogen, der immer eintritt, wenn sich diese Flamme bildet. Man hat sich vielfach bemüht, durch die Fabrication einer künstlichen Kohle diese Uebelstände zu beseitigen; aber entweder waren die Fabricationsmethoden zu umständlich oder zu kostspielig, oder sie lieferten überhaupt kein besseres Material als die Retortenkohle. Vorzügliche Resultate erhielten *Curmer* und *Jacquelain*, von denen der erstere eine Mischung von organischen Substanzen bei möglichst hoher Temperatur verkohlte, die so entstandene sehr poröse Kohle mit kohlenstoffreichen Materien imprägnirte und dieses Ver-

Digitized by Google

fahren mehrmal nach einander wiederholte, der andere die Bedingungen, unter denen bei der Gasbereitung die Retortenkohle sich bildet, nachzuahmen suchte. Anstatt aber die stets unreine Steinkohle zu verwenden, nahm *Jacquelain* Steinkohlentheer, der bereits eine Destillation durchgemacht hat und daher von allen flüchtigen Unreinigkeiten befreit ist. Indem er denselben längere Zeit mit den glühenden Wänden von besonders dazu geeigneten Gefässen in Berührung erhielt, bekam er eine Art Retortenkohle von fast vollständiger Reinheit. Die aus derselben hergestellten Kohlenstäbchen zeichneten sich in der That vor allen anderen bekannten Kohlensorten in hohem Grade aus; das Licht, welches sie erzeugten, war durchaus ruhig, viel weisser als gewöhnlich und bei gleicher Stromstärke etwa um 1/4 intensiver als das der übrigen Kohlen. Aber auch dieses Verfahren scheint zu kostspielig gewesen zu sein, wenigstens hat *Jacquelain* dasselbe nicht weiter verfolgt.

Wir könnten noch viele Techniker anführen, welche sich um die Verbesserung in der Fabrication der Kohlenstäbchen verdient gemacht haben, so insbesondere schon früher *Staite & Edwards* (1846), *Staite & Petrie* (1849), *le Molt* und *Archereau* (1849), sodann *Lacassagne & Thiers*, *Jaspar*, *Deleuil*, *Peyret*, *Gaiffe* u. A., allein es würde uns zu weit von unserm Gegenstande abführen, wenn wir auf alle diese verschiedenen Fabricationsmethoden näher eingehen wollten; auch haben dieselben heute kein praktisches Interesse mehr.

Unter denjenigen Technikern, welche sich gegenwärtig mit der Fabrication von Kohlenstäbchen für das elektrische Licht befassen, stehen *Carré* und *Gaudoin* in Paris und *Gebr. Siemens & Co.* in Charlottenburg bei Berlin in erster Linie. *Carré* empfiehlt für die Herstellung künstlicher Kohle eine Mischung von gepulvertem Coaks, calcinirtem Ofenruss und einen Syrup, der aus 30 Theilen Rohrzucker und 12

Digitized by Google

Theilen Gummi zusammengesetzt ist. Die Masse wird fein zerrieben, dann stark comprimirt, in Stäbe zerschnitten und dann wiederholt längere Zeit einer starken Rothglühhitze ausgesetzt.

Die *Carré*'schen Kohlenstäbe sind zäher und fester als die, welche aus Retortenkohle geschnitten sind. Sie sind sehr gerade und regelmässig geformt und ihre cylindrische Form macht, dass sie bei ihrer Abnutzung stets die anfängliche Zuspitzung behalten; sie lassen sich bei einem Durchmesser von 1 cm in einer Länge von 50 cm verwenden, ohne dass man einen Bruch zu befürchten hat, und *Fontaine* rügt nur an ihnen als einzigen Uebelstand ihre nicht gerade grosse Haltbarkeit, die Bildung kleiner Flammen zwischen den glühenden Spitzen und leichte Unregelmässigkeiten in der Lichtstärke.

Gaudoin, der wie *Carré* zu dem Ergebnisse gelangte, dass die Beimengung fremder Stoffe zu der Kohle zwar die Lichtstärke erhöhen könne, aber zugleich in sehr nachtheiliger Weise Flammen und Rauch erzeuge, ist schliesslich zu einer Fabricationsmethode gekommen, welche ganz vorzügliche Kohlenstäbe liefert. Sein Verfahren besteht im Wesentlichen darin, dass er bei hoher Temperatur in geschlossenen Gefässen und unter Ausschluss der Luft trockene oder flüssige Fette, Theere, Harze, natürliche oder künstliche Oele, überhaupt solche kohlenstoffreiche organische Substanzen sich zersetzen lässt, welche eine reine Kohle zurücklassen. Diese Destillation wird in Tiegeln von Graphit vorgenommen und jede Berührung der zu zersetzenden Substanzen mit Eisen, Kupfer oder sonstigen Stoffen, welche die zurückbleibende Kohle verunreinigen könnten, sorgfältig vermieden. Nachdem die so erhaltene Kohle möglichst fein gepulvert worden ist, wird sie mit Russ oder mit gewissen, bei der Destillation als Nebenproducte abfallenden Kohlenwasserstoffen gemengt und unter einem starken Drucke einer

Digitized by Google

hydraulischen Presse nach Art der Bleistifte zu cylindrischen Stäben geformt.

Fontaine hat mit grossem Aufwand von Zeit und Kosten zu wiederholten Malen eine grosse Anzahl der verschiedensten für das elektrische Licht bestimmten Kohlenstäbe einer vergleichenden Untersuchung unterzogen und gefunden, dass die *Gaudoin*'schen Kohlen in jeder Beziehung die besten sind. Die Ergebnisse seiner Untersuchung sind in folgenden Tabellen (s. f. S.) zusammengestellt.

Die Lichtstärke betrug bei der Retortenkohle 103 Carcel-Brenner und schwankte bei den präparirten Kohlen von *Archereau* und *Carré* zwischen 120 und 180, bei denen von *Gaudoin* zwischen 200 und 210 Carcel-Brennern. Im Mittel ergab sich bei den erstgenannten Kohlenstäben eine Lichtstärke von 150, dagegen bei der Kohle von *Gaudoin* von 205 Carcel-Brennern.

Die Abnutzung der Kohlenstäbe war für den gleichen Querschnitt von 1 qcm

bei der Retortenkohle .....51 mm,
„ „ Kohle von *Archereau*.....66 „
„ „ „ „ *Gaudoin* .....73 „
„ „ „ „ *Carré* .....77 „

Im Verhältnisse zum erzeugten Lichte betrug dagegen diese Abnutzung

für die Retortenkohlen.....49 mm per 100 C.-Brenner,
„ „ Kohlen von *Archereau*..44 „ „ „ „
„ „ „ „ *Carré* .....51 „ „ „ „
„ „ „ „ *Gaudoin* ...35 „ „ „ „

Die vergleichenden Versuche wurden mit einer von *Breguet* gebauten *Gramme*'schen Maschine und mit einer *Carré*'schen Lampe angestellt. Die Versuche wurden später mit einer stärkeren Maschine und einer *Serrin*'schen Lampe nochmals wiederholt, wobei besonders darauf gesehen wurde, dass die Messung der Lichtstärke so genau als möglich geschah.

Digitized by Google

Versuche am 6. November 1876.

Bezeichnung der Kohlen.	Dimensionen.	Geschwindigkeit der Maschine.	Verbrauch an negativer Kohle. mm	Verbrauch an positiver Kohle. mm	Gesammtverbrauch. mm	Mittlerer Verbrauch. mm	Verhalten des Lichtes in Bezug auf Regelmässigkeit.	Bemerkungen.
Retortenkohle . .	9 qmm	800	19	36	55	63	Regelmässig.	Funkeln, kurze Unterbrechung.
	9 „	920	23	48	71		Zieml. regelmässig.	Theilweises Zerfallen d. Kohlen.
Archereau	10 mm Durchm.	800	20	60	80	85	Ziemlich ruhig.	Theilweises Spalten der Kohlen, kleine Flämmchen.
	do.	920	30	60	90		Ziemlich ruhig.	Aschenbildung mit viel Eisenoxyd; weisses Licht; gute Zuspitzung.
Carré	10,4 mm Durchm.	800	18	60	78	92	Unruhig.	Theilweises Zerfallen der Kohle; einige Flämmchen; mehr Aschenbildung und Rothglühen auf eine grössere Länge als bei der vorigen Kohle.
	do.	920	26	80	106		Ziemlich ruhig.	
Gaudoin	11,3 mm Durchm.	800	20	38	58	73	Sehr regelmässig.	Kein Zerfallen der Kohle; keine Flämmchen; weniger Aschenbildung als bei den Kohlen von *Carré* und *Archereau*.
	do.	920	38	50	88		Sehr regelmässig.	

Digitized by Google

Versuche am 4. April 1877.

Bezeichnung der Kohlen.	Form und Dimensionen.	Querschnitt in qmm. qmm	Gesammte Abnutzung per Stunde. mm	Mittlere Lichtstärke in Carcel-Br.	Länge des Lichtbogens. mm	Tourenzahl per Minute.	Regelmässigkeit des Lichtes.	Bemerkungen.
Retortenkohle guter Qualität	Viereckig 9 mm Seite	81	60	120	2,5	820	Ziemlich gut.	Vielfach Aufblitzen, Abspringen eines kleinen Stückes Kohle. Zucken. Sehr unregelmässige Zuspitzung der Kohlen.
Kohlen von *Archereau*, neues Muster	Rund 10 mm Durchm.	78	68	173	3	820	Ganz unregelmässig.	Zerfallen und facettenartige Zuspitzung der Kohle. Flämmchen. Lichtstärke sehr schwankend.
Kohlen von *Carré*, neues Muster . .	Rund 9 mm Durchm.	64	69	175	3	820	Mittelmässig.	Kleine Flämmchen, Licht von sehr ungleicher Stärke, regelmässige Abnutzung der Kohle.
Kohlen von *Gaudoin*, Modell I	Rund 11,2 mm Durchm.	98	80	203	3	820	Gut.	Weder Flämmchen noch Zucken, Licht etwas röthlich aber sehr constant.
Kohlen von *Gaudoin*, (aus Holzkohle bereitet)	Rund 11,5 mm Durchm.	78	78	240	3	820	Ziemlich gut.	Licht sehr weiss, aber weniger beständig als bei Modell I. Keine Flämmchen. Geringe Schwankungen.

Digitized by Google

Die Abnutzung der Kohlenstäbe war hierbei für den gleichen Querschnitt von 1qcm:

bei der Kohle von *Carré*..... 44mm,
„ „ Retortenkohle..... 49 „
„ „ Kohle von *Archereau*..... 53 „
„ „ „ „ *Gaudoin* (aus Holzkohle). 61 „
„ „ „ „ „ I. Mod..... 78 „

Im Verhältnisse zum erzeugten Lichte betrug die Abnutzung:

für die Kohle von *Gaudoin*
(aus Holzkohle) 32mm per 100 C.-Brenner,
„ „ „ „ *Archereau*.... 39 „ „ 100 „
„ „ „ „ *Gaudoin*,I.Mod.40 „ „ 100 „
„ „ Retortenkohle..... 50 „ „ 100 „

Das Licht der *Gaudoin*'schen Kohlen, I. Mod., war etwas weniger regelmässig wie bei den Versuchen vom 6. November 1876. Bei den Kohlen von *Carré* schwankte die Lichtstärke in weniger als einer Minute zwischen 100 und 250 Carcel-Brennern; sie wechselte rings um die Kohlenspitzen herum, wie es bei Strömen von alternirender Richtung zu geschehen pflegt. Die Kohlen von *Archereau* nutzten sich zwar langsam ab, aber ihr Licht war so wenig beständig, dass die photometrischen Messungen nur mit Mühe ausgeführt werden konnten. Nur die Retortenkohlen zeigten sich ebenso dauerhaft und von derselben Lichtstärke, leider aber auch ebenso unbeständig als bei den früheren Versuchen.

Das Problem, eine gute, allen Anforderungen an das Licht entsprechende und vor Allem eine dauerhafte und widerstandsfähige Kohle zu erzeugen, ist hiernach noch nicht gelöst. Die rasche Abnutzung derselben bedingt im Verlaufe einer Nacht eine mehrmalige Auswechselung in den Lampen, was nicht bloss umständlich, sondern zuweilen auch mit einer, wenn auch rasch vorübergehenden Störung des Betriebes verbunden ist.

Digitized by Google

Es ist eine bekannte Erfahrung, dass die Kohlenstäbe auf eine Strecke von 7 bis 8cm von ihrer Spitze rothglühend werden, was offenbar einem Verluste an Leuchtkraft des Flammenbogens gleich kommt. Diesen Uebelstand sucht *E. Reynier* dadurch zu beseitigen, dass er die Kohlen mit einem dünnen metallischen Ueberzuge versieht und so jedes seitliche Ueberhitzen und Verbrennen verhütet. Die in den Werkstätten von *Sautter & Lemonnier* mit einer älteren *Gramme*'schen Maschine hierüber angestellten Versuche ergaben allerdings, dass die metallisirten Kohlen sich bedeutend langsamer abnutzen als die gewöhnlichen reinen Kohlen. Die hierüber mit *Carré*'schen Kohlenstäben und einer *Serrin*'schen Lampe angestellten Versuche lieferten folgende Resultate:

Dimensionen der Kohlen.	Beschaffenheit der Oberfläche der Kohlen.	Verbrauch von Kohlen in 1 Stunde.			Lichtstärke in Carcel-Brennern.
		am + Pol.	am — Pol.	Total.	
Durchmesser = 7mm Querschnitt = 0,38qcm	frei	166mm	68mm	234mm	947
	verkupfert .	146 „	40 „	186mm	947
	vernickelt .	106 „	38 „	144mm	947
Durchmesser = 9mm Querschnitt = 0,64qcm	frei	104mm	50mm	154mm	528
	verkupfert .	98 „	34 „	132 „	553
	vernickelt .	68 „	36 „	104 „	516

Die Versuche ergaben ausserdem noch für die freien Kohlen, dass die Zuspitzung besser und auf eine längere Strecke vor sich ging bei kleinerem als bei grösserem Durchmesser, was leicht zu begreifen ist; dass dagegen bei den metallisirten Kohlen das Umgekehrte eintritt, ist schwerer zu erklären.

Digitized by Google

Aus den vorstehenden Versuchen darf man schliessen:

1. Dass, abgesehen von der besseren Zuspitzung der positiven Kohle, die Vernickelung der Kohlen ihre Dauerhaftigkeit bei 9mm Durchmesser um 50% und bei 7mm um 62% verbessert. Die Verkupferung der Kohlen verlängert ihre Dauer ebenfalls, aber nicht so viel als die Vernickelung.
2. Bei gleichem Querschnitte scheint die Metallisirung der Kohlen auf die Lichtstärke keinen Einfluss auszuüben.
3. Die Leuchtkraft der dünneren Kohlen ist bei gleicher Stromstärke weit grösser, als die der dickeren, was theils davon herrührt, dass die dünnen Stäbe dem Strome einen grössern Widerstand entgegensetzen und daher sich auch stärker erhitzen als die dicken, theils davon, dass die sogenannte Polarisation der Kohlenstäbe bei dünnen Stäben weit energischer auftritt, als bei Stäben von grossem Querschnitte.
4. Die Metallisirung der Kohlenstäbe erweist sich in ökonomischer Beziehung als vortheilhaft, weil sie gestattet, bei gleicher Dauer der Verwendung statt der dicken Stäbe solche von kleinerem Querschnitte zu nehmen.

Nach *Iron* 1879, Bd. 14, p. 300, stellte auch *H. W. Wiley* verschiedene Versuche an, um die Kohlen gegen zu rasches Verbrennen zu schützen, und erlangte die günstigsten Erfolge, wenn er die Kohlen mit Kupfer plattirte und darüber mit einem etwa 1mm dicken Ueberzug von fein gebranntem Gyps (Plaster of Paris) versah, um das Kupfer gegen Oxydation zu schützen.

Das Metallisiren ist übrigens eine sehr einfache Operation und geschieht auf galvanischem Wege.

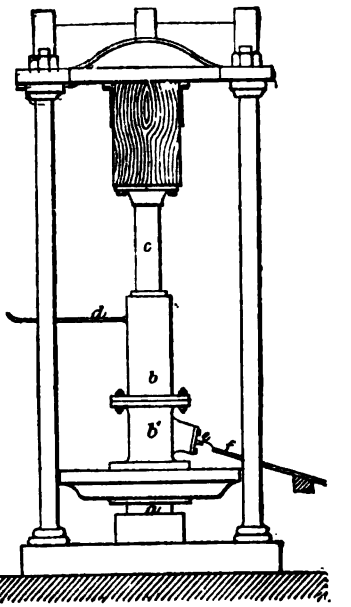
98. Die Kohlenfabrication von Napoli. In jüngster Zeit werden die Kohlen von *Napoli* in Paris für die besten

Digitized by Google

gehalten. Die Materialien, welche derselbe verwendet, sind im Wesentlichen Retortenkohle, Gastheer und der Rückstand bei Dunkelrothgluth langsam destillirter Kohle. Die Retortenkohle wird zuerst zu einem feinen Pulver gerieben und nachher auf Schüttelsieben sorgfältig gesiebt.

Dieses Pulver wird in einem Gefässe, in welchem sich ein Paar Mühlsteine bewegen, mit Theer gemischt im Verhältniss von 75% Retortenkohle und 25% Theer. Nach vier Stunden ist die Mischung in der Mühle zu einem vollständig gleichmässigen Brei geworden, der in eine Presse gebracht wird. Die Form derselben ist in Fig. 249 abgebildet. Der Presscylinder besteht aus zwei miteinander verschraubten Gusstheilen, deren unterer gekrümmt ist und drei

Fig. 249.



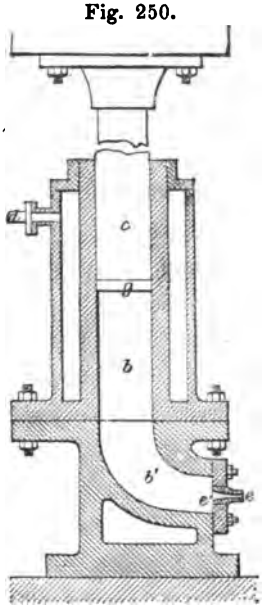
Maschine für die Fabrication von Lichtkohlen.

Mundstücke *e* trägt. Der obere Theil bildet einen Cylinder *b*, welcher mit der Kohlenmischung gefüllt wird. Auf diese

Digitized by Google

wirkt die Platte *g* des Kolbens *c* (vergl. Fig. 250), der mit einem grossen Druck in das Rohr hineingepresst wird. Der Cylinder *b* ist mit einem Dampfrohre umgeben, in welches fortwährend durch das Rohr *d* Dampf geleitet wird. Es ist dies eine absolute Nothwendigkeit, da die Maschine nur gute Resultate gibt, wenn die Kohlenmischung warm ist. Ein geneigter Tisch *f* empfängt die aus der Oeffnung *e* austretenden

Fig. 250.



Maschine für die Fabrication von Lichtkohlen.

Kohlenstäbe. Die Wirkung des Apparates ist leicht zu verstehen. Wenn der Kolben *a* der Presse von unten gehoben wird, so wird die in dem Cylinder *b* enthaltene Kohlenmischung gegen den Cylinder *c* gepresst und dadurch gezwungen, in einem continuirlichen Strahle aus der Oeffnung *e* herauszutreten. Dieser Strahl wird auf dem geneigten Tische *f* aufgenommen und kann in beliebig langen Stücken abgeschnitten werden. Im Anfang machte es grosse Schwierigkeit, die hydraulische Presse wirken zu lassen, weil immer

Digitized by Google

eine feine Schicht von Kohle zwischen dem Kolben *g* und dem Cylinder *b* hineingepresst wurde, was den ganzen Apparat unbrauchbar machte.

Die aus der Oeffnung *e* heraustretenden Kohlenstücke werden sorgfältig und langsam rothglühend gemacht, doch darf ihre Temperatur nicht höher werden als diejenige, bei welcher der Theer aus der Kohle destillirt und die Retortenkohle erzeugt wurde. Diese Erhitzung muss sehr langsam vor sich gehen; sie ist begleitet mit einer Zersetzung des Theers und der Entweichung der dabei entstehenden Gase. Die Kohlen ziehen sich hierbei beträchtlich zusammen. Nach dieser Zersetzung wird die Hitze bis zur Rothgluth gesteigert, während mehrerer Stunden unterhalten und die Kohlen dann langsam abgekühlt. Nach diesem ersten Backen und Abkühlen werden die Kohlen einer zweiten ähnlichen Operation unterworfen, doch werden sie diesmal bis zur Weissgluth erhitzt, welche die letzten Spuren von Gas austreibt. Nach der Abkühlung sind die Kohlen von grosser Härte und haben einen feinen Bruch wie Gussstahl und eine stahlgraue Farbe. Diese Kohlenstäbe sind ohne weitere Behandlung für Beleuchtungszwecke geeignet, sie brennen mit vollkommener Ruhe und geben ein rein weisses Licht. Sie brennen sehr langsam ab und es wird behauptet, dass ihr relativer Verbrauch, verglichen mit den Kohlen von *Carré* von ähnlicher Sorte und in derselben Zeit, sich verhalte wie 1 : 3,3.

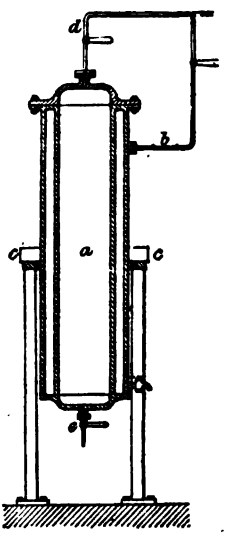
Für gewisse Sorten von Lampen, besonders für die Glühlampen von *Werdermann* hält *Napoli* es vortheilhaft, die Kohlen noch einem weitern Processe zu unterwerfen. Ihre Dichtigkeit wird nämlich erhöht, wenn sie in Zuckersyrup getränkt und nachher gebacken werden.

Dieses Tränken kann aber nicht einfach dadurch geschehen, dass die Kohlen in die Syruplösung eingetaucht werden, da wegen der grossen Dichtigkeit derselben die

Digitized by Google

Flüssigkeit nicht mehr in die Poren eindringen würde. Man muss desshalb einen speciellen Apparat, welcher in Fig. 251 abgebildet ist, für diese Tränkung verwenden. Derselbe besteht aus einem Cylinder *a*, welcher von einem Dampfrohr umgeben ist, in das durch die Röhre *b* Dampf

Fig. 251.



Apparat zur Tränkung der Kohlenstäbe.

eingeblasen wird, um den Cylinder warm zu halten. Das obere Ende des Cylinders *a* ist mit einem Hahn *d* versehen, der entweder mit einer Pumpe zur Erzeugung eines Vacuums oder mit einem Dampfkessel zur Erzeugung eines Drucks verbunden werden kann. Das untere Ende des Cylinders hat einen Auslasshahn *e*. Der Apparat wird wie folgt benutzt: Die Hahnen sind im Anfang abgeschraubt, der Cylinder *a* um die Lager *c* in horizontale Lage gedreht und die Deckel ebenfalls abgeschraubt. Ein Tragkorb, gefüllt mit Kohlenstäben, wird in den Cylinder *a* placirt. Die Deckel werden zugeschraubt und die Hahnen befestigt. Dann wird Dampf in das den Cylinder umgebende Rohr eingelassen, bis die Kohlen

Digitized by Google

durch und durch erwärmt sind. Hierauf wird der Hahn *d* nach der Dampfpumpe geöffnet und im Cylinder *a* ein theilweises Vacuum erzeugt, wodurch ein grosser Theil der in den Kohlen enthaltenen Luft ausgetrieben wird. Wenn jetzt der Hahn *e* am Boden des Cylinders, der mit einem mit Syrup gefüllten Gefässe in Verbindung steht, geöffnet wird, so saugt das Vacuum die Syruplösung an, der Cylinder füllt sich und die geleerten Poren der Kohlen werden von der Syruplösung ausgefüllt. Hierauf wird die Flüssigkeit abgelassen und ein Dampfstrom durch den Cylinder gesandt, der die Kohlen von der oberflächlich anhaftenden Flüssigkeit befreit und zugleich die leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffgase entfernt. Die Kohlen werden abermals ausgeglüht, und wenn es vortheilhaft erscheinen sollte, derselbe Process des Tränkens mit Syrup nochmals wiederholt.

99. Verhältniss von Lichtstärke und Arbeitsverbrauch. Die gesammte, von dem elektrischen Lichtbogen ausgehende Strahlung von Licht und Wärme ist nur eine andere Form der mechanischen Arbeit, welche von der Betriebskraft der magnet- oder der dynamo-elektrischen Maschine aufgewendet werden muss, um den Flammenbogen zu erzeugen, und diese mechanische Arbeit ist wieder nur eine andere Form der molekularen Bewegung, welche durch das Verbrennen der Kohlen in der Dampfmaschine oder des Leuchtgases in dem Gasmotor u. s. w. erzeugt wird. Es tritt uns daher die erste Frage entgegen, welche Lichtstärke dem Aufwande einer ganz bestimmten Arbeit, z. B. von 1 Pferdekraft, entspricht.

Die Versuche, welche hierüber angestellt werden, sind jedesmal so angeordnet, dass man, wenn die Lichtmaschine die erforderliche Anzahl von Touren macht, nach den gewöhnlichen Methoden mittels eines Dynamometers die Arbeit der Maschine misst, während zu gleicher Zeit die Lichtstärke des Flammenbogens mittels eines Photometers ge-

Digitized by Google

messen wird. Die Resultate dieser Versuche sind aber nie ganz genau, da es sehr schwierig ist, diese Messungen genau gleichzeitig zu machen, und auch bei regelmässigem Gange der Maschine in Folge von Unreinigkeiten oder einer ungleichartigen Zusammensetzung der Kohlen in dem Bogen Schwankungen der Lichtstärke entstehen, die das blosse Auge nicht wahrnimmt, die sich aber im Photometer ununterbrochen zu erkennen geben. Hierzu kommt noch, dass das Licht des Flammenbogens im Photometer stets schwach rosaviolet, dagegen das der Carcel-Lampe, mit welcher es gewöhnlich verglichen wird, grünlich gefärbt erscheint und es immer schwierig ist, die Lichtstärken zweier Lichter von ungleicher Farbe mit einander zu vergleichen. Indessen sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen doch hinreichend verlässlich, um bei Berechnungen über die Kosten des elektrischen Lichtes und die zweckmässigste Art seiner Erzeugung die nöthige Unterlage zu geben.

Wenn man den Motor, z. B. eine Dampfmaschine, auf die zur Erzeugung des elektrischen Lichtes bestimmte magnet- oder dynamo-elektrische Maschine einwirken lässt, ohne den Kreislauf für den Strom zu schliessen, so hat dieselbe nicht viel mehr Arbeit zu leisten, als zur Ueberwindung der Reibung erforderlich ist; ihre Kraft wird fast ganz zur Umdrehung des Ringes, der Trommel oder der Magnete verwandt und diese machen vielleicht 1000 Umläufe in der Minute, ohne dass ein Strom vorhanden ist. Sobald man aber die Leitung schliesst und der Strom entsteht, empfindet der Motor den entstehenden Widerstand in der Lichtmaschine; er arbeitet sichtlich mit mehr Anstrengung und seine Bewegung wird langsamer. Mit Hülfe eines Dynamometers[1]) kann man nun die jedesmalige Arbeitsleistung des Motors leicht ermitteln; sie ist bedeutend, wenn der erzeugte Strom

1) Vgl. p. 60 u. ff.

Digitized by Google

stark ist, sie wird kleiner, wenn die Stromstärke abnimmt, und sie ist fast Null, wenn der Strom aufhört; in jedem Falle ist die von dem Motor zum Betriebe der Maschine aufgewendete Arbeit der Grösse der Stromstärke entsprechend. Diese mechanische Massenarbeit setzt sich in der Lichtmaschine grösstentheils in diejenige Form von Molekular-Arbeit um, welche wir Elektricität nennen, und in dem Flammenbogen erleidet diese letztere Bewegungsform abermals eine Umsetzung in diejenigen Molekular-Arbeiten, welche wir Wärme und Licht nennen. Wenn man daher von den molekularen Arbeitsleistungen in den gesammten Drähten der Maschine und der Leitung absieht und nur ausschliesslich den Anfangs- und den Endpunct dieses Vorganges ins Auge fasst, so kann man sagen, dass die mechanische Arbeit des zum Antriebe der elektrischen Maschine verwandten Motors in der Form von Aetherschwingungen oder von strahlender Energie (Licht und Wärme) zum Ausdrucke gelangt und die ganze Arbeit der Dampfmaschine in dem Flammenbogen als Licht und Wärme wieder zum Vorschein kommt.

Schon *Le Roux* hatte es versucht, an einer Alliance-Maschine das Verhältniss zwischen dem Arbeitsaufwande und der Lichtstärke zu ermitteln; aber das erhaltene Resultat war unsicher und wenig befriedigend. *Tresca*[1]) wiederholte diese Versuche in den Werkstätten von *Sautter* und *Lemonnier* in Paris mit *Gramme*'schen dynamo-elektrischen Maschinen, und zwar am 16. October 1875 mit einer stärkeren Lichtmaschine von 1850 Bec-Carcel (Fig. 103) und am 4. December desselben Jahres mit einer schwächeren von 300 Bec-Carcel.

Die erste Maschine hatte folgende Dimensionen:

1) Comptes rendus des Séances de l'Acad. des Sc. t. 82, p. 299.

Digitized by Google

Elektromagnet:

Durchmesser des Eisenkerns eines Elektromagnets	70 mm,
Länge „ „ „ „	404 „
Durchmesser eines jeden Elektromagnets mit der Drahtspule	132 „
Durchmesser des Drahtes	3,3 „
Gewicht des Drahtes auf jedem Elektromagnet	24 kg.

Ring:

Aeusserer Durchmesser des Kerns von weichem Eisen	195 mm,
Innerer „ „ „ „ „ „	157 „
Breite des Kerns von weichem Eisen	119 „
Aeusserer Durchmesser des Ringes	230 „
Innerer „ „ „	120 „
Durchmesser des aufgewickelten Drahtes	2,6 „
Gewicht „ „ „	14,50 kg.

Leitungsdrähte von der Maschine zur Lampe:

Durchmesser	78 mm,
Querschnitt	47 qmm.

Maschine:

Ganze Länge mit Riemenscheibe	800 mm,
„ Höhe	585 „
„ Breite	550 „

Die kleinere Maschine war einfacher gebaut und hatte folgende Dimensionen:

Elektromagnet:

Durchmesser des Eisenkerns eines Elektromagnets	70 mm,
Länge „ „ „ „	355 „
Durchmesser des Elektromagnets mit Drahtspule	120 „
Durchmesser des Drahtes	3,8 „
Gewicht des Drahtes auf jedem Elektromagnet	14 kg.

Ring:

Aeusserer Durchmesser des Kerns von weichem Eisen	168 mm,
Innerer „ „ „ „ „ „	123 „
Breite des Kerns von weichem Eisen	101 „
Aeusserer Durchmesser des Ringes	203 „
Innerer „ „ „	119 „
Durchmesser des Drahtes	2 „
Gewicht des aufgewickelten Drahtes	4,650 kg

Leitungsdrähte von der Maschine zur Lampe.

Durchmesser	2,6 mm,
Querschnitt	5,5 qmm.

Digitized by Google

Maschine:

Ganze Länge mit Riemenscheibe	650mm,
„ Höhe	506 „
„ Breite	410 „

Die grosse Maschine speiste einen von *Gramme* selbst construirten Regulator, die kleine eine *Serrin*'sche Lampe (§. 103); beide Lampen hatten gleiche Kohlenstäbchen von 81qmm im Querschnitt.

Die Carcel-Lampen standen dem Photometer hinreichend nahe, während die elektrischen Lampen beim ersten Versuche 40m, beim letzten 20m davon entfernt werden mussten, um in dem Instrumente von beiden Lichtquellen gleiche Helligkeiten zu erzielen. In dem Momente, wo man in dem Photometer dieses zu beobachten glaubte, wurde der Beobachter am Dynamometer des Motors durch ein Signal veranlasst, ein Diagramm aufzunehmen, was in wenigen Secunden ausgeführt wurde. Ein dritter Beobachter ermittelte gleichzeitig die Tourenzahl des Dynamometers in der Minute.

Die nachstehenden Tabellen geben die Resultate der gemachten Beobachtungen.

1. Grosse Maschine (16. October 1875).

Verhältniss der Entfernungen v. Photometer 40 : 0,93,

„ „ Licht-Intensitäten ..... $40^2 : 0{,}93^2 = 1850$.

Aufnahme-Nr.	Touren des Dynamometers per Minute.	Mittlere Ordinaten des Diagramms. mm.	Arbeit in Kilogrammmeter per Secunde.
1	238	22,50	678,28
2	251	18,89	600,56
3	248	21,74	682,92
4	244	16,60	513,00
5	241	15,59	475,86
6	244	16,65	516,23
Mittel . .	244		576,12 oder 7,68 Pferdekr.

Digitized by Google

Arbeit per 100 Bec-Carcel $= \frac{7{,}68 \times 100}{1850} = 0{,}415$ Pferdekraft,

Arbeit per Bec-Carcel und Secunde... $= 0{,}31$ kgm.

2. Kleine Maschine (4. December 1875).

Verhältniss der Entfernungen v. Photometer 20 : 1,15,

„ „ Licht-Intensitäten ..... $20^2 : 1{,}15^2 = 302{,}4$.

Aufnahme-Nr.	Touren des Dynamometers per Minute.	Mittlere Ordinaten des Diagramms. mm.	Arbeit in Kilogrammmeter per Secunde.
1	234	7,11	201,73
2	238	6,66	200,79
3	244	7,42	225,42
Mittel . .	239		210,65 oder 2,81 Pferdekr.

Arbeit per 100 Bec-Carcel $= \frac{2{,}81 \times 100}{302{,}4} = 0{,}92$ Pferdekraft,

Arbeit per Bec-Carcel und Secunde ... $= 0{,}69$ kgm.

Die Maschinen arbeiteten regelmässig und nur so lange, als man eine Erwärmung derselben nicht wahrnehmen konnte.

Es ergibt sich aus diesen Versuchen, dass die kleinen Maschinen nicht so vortheilhaft sind wie die grossen; in dem vorliegenden Falle brauchte man zur Erzeugung der Lichtstärke von 1 Bec-Carcel bei Anwendung der kleinen Maschine mehr als doppelt so viel Arbeit als bei der grossen Maschine. Legt man, was der Wirklichkeit in den meisten Fällen entspricht, bei Kostenberechnungen des elektrischen Lichtes die kleinere Maschine zu Grunde, so kann man annehmen, dass für die Lichtstärke von 100 Bec-Carcel im Mittel 1 Pferdekraft erforderlich ist, und hat dann ausser den Kosten der Anlage u. s. w. nur zu ermitteln, wie theuer die Arbeitsleistung von 1 Pferdekraft zu stehen kommt.

Prof. *Hagenbach* bediente sich bei seinen Versuchen, zur Erzeugung des elektrischen Lichtes einer *Gramme*'schen Maschine (Fig. 104), einer *Serrin*'schen Lampe, und

Digitized by Google

zur Messung der Lichtstärke eines *Bunsen*'schen Photometers, wobei als Einheit des Lichtes die Paraffinkerze von 21,4mm Durchmesser und 41,3mm Flammenhöhe zu Grunde gelegt wurde. Um den Widerstand nach Einschaltung der Regulatorlampe zu bestimmen, wurde die Zahl der Umläufe und die Stromstärke gemessen, dann der Regulator entfernt und so lange an dessen Stelle immer mehr Widerstände eingeschaltet, bis die frühere Zahl der Umläufe und die vorige Stromstärke wieder erreicht war. Dieses ergab für den Widerstand des Flammenbogens 4,51 Ohm[1]), was für den gesammten Widerstand während der Erzeugung des elektrischen Lichtes 6,30 Ohm gibt. Die Messung der Lichtstärken und der entsprechenden Stromstärken ergaben dann durch Rechnung und Interpolation folgende Resultate:

Zahl der Umläufe in der Minute.	Lichtstärke in Normalkerzen.	Intensität des Stromes in Cubikcentimeter Knallgas per Minute.	Elektromotorische Kraft in *Deleuil*'schen Elementen.
1700	506	119	40,8
1800	567	126	43,2
1900	628	133	45,6
2000	689	140	48,0

Versuche mit dem *Prony*'schen Bremsdynamometer zeigten, dass man zur Lichterzeugung bei 1800 Umläufen in der Minute eine Arbeitsleistung von etwa 90kgm per Secunde, also mehr als eine Pferdekraft gebraucht, und diese entsprechen einer Lichtstärke von 567 Paraffinkerzen oder von ungefähr 80 Carcel-Brennern. Bei der angewandten Maschine waren daher zur Lichterzeugung von 1 Carcel-Brenner 1,1kgm erforderlich.

Stellt man diese Resultate mit denen von *Tresca* zusammen, so erhält man bei einer Maschine für

1) *Hagenbach* hat die Länge des Lichtbogens nicht angegeben; vgl. die Erörterungen des §. 94.

Digitized by Google

Arbeit per Sec. für 1 Carc.-Br.

1850 Carcel-Brenner (*Tresca* Nr. 1) ... 0,3kgm,
302 „ („ Nr. 2) ... 0,69 „
80 „ (*Hagenbach*) ..... 1,1 „

woraus wieder folgt, dass grosse Maschinen vortheilhafter sind als kleine.

Hagenbach fügt noch hinzu, dass seine *Deleuil*'schen Elemente einen innern Widerstand von 0,079 Ohm hatten und dass man also 72 Elemente hinter einander schalten müsse, um dasselbe Licht zu erhalten, welches die *Gramme*'sche Maschine bei 1700 Touren in der Minute erzeugt, und dass 86 Elemente erforderlich seien für dasselbe Licht, welches die Maschine bei 2000 Touren liefert.

Die Experimente von *Tresca* und *Hagenbach* sind schon ältern Datums und dem entsprechend mit Maschinen älterer Construction angestellt; eine Maschine neuerer Construction wurde bei den Versuchen gebraucht, über welche *Fontaine* in seinem Werke p. 211 und ff. berichtet und welche die in Abth. VII mitgetheilten Untersuchungen in mancher Beziehung ergänzen.

Alle hier zur Sprache kommenden Experimente — sagt *Fontaine* — wurden in dem Laboratorium von *Gramme* unter dessen persönlicher Mitwirkung mit grösster Sorgfalt ausgeführt.

Als Elektricitätsquelle diente eine *Gramme*'sche Maschine, type normal, aus den Werkstätten von *Mignon & Rouart*.

Der Regulator war System *Serrin*, Fabrication von *Breguet*.

Die Kohlen hatten einen Durchmesser von 13mm und waren nach dem *Gaudoin*'schen Verfahren hergestellt.

Als Motor diente eine horizontale Gasmaschine, System *Otto*, von 5 Pferdekraft. Ein *Giroud*'scher Gasdruckregulator diente dazu, Differenzen im Gasdruck, welche den Gang der Maschine beeinflussen konnten, zu verhindern.

Digitized by Google

Die *Gramme*'sche Maschine wurde direct von der Gasmaschine getrieben.

Die Leitungsfähigkeit der Kabel war 0,95, wenn Silber gleich 1; ihr Querschnitt betrug 10 qmm.

Die Tourenzahl der Gasmaschine war 160 per Minute. Die Anzahl der Explosionen schwankte je nach dem Kraftverbrauch zwischen 40 und 80 in der Minute.

Die verbrauchte Betriebskraft konnte in jedem Augenblick ziemlich annähernd genau nach der Anzahl der Explosionen bemessen werden, doch wurde zur Vermeidung von Fehlern nach jeder Lichtmessung die verbrauchte Arbeit direct gemessen, so dass die Resultate, welche sich auf den Verbrauch an Kraft beziehen, zuverlässig sind.

Die Bestimmung der Lichtstärken erfolgte mit einem Photometer von *Foucault*.[1]) Drei Personen beobachteten nacheinander durch das Photometer, und von den drei so erhaltenen Ablesungen wurde nicht das Mittel, sondern die für das elektrische Licht ungünstigste Ablesung notirt.

Die Geschwindigkeit der Maschine beeinflusst natürlich ihren Nutzeffect; man hätte somit ein Interesse daran, diese Geschwindigkeit, wenn man viel Licht will, bedeutend zu erhöhen, man ist aber anderseits hier durch die Grösse des Lichtbogens beschränkt, die mit der Geschwindigkeit zunimmt und die in der Praxis eine bestimmte Dimension nicht überschreiten darf. Ueberschreitet bei Kohlen von 13 mm Durchmesser die Länge des Lichtbogens 5 mm, so spitzen sich beide Kohlen zu stark zu, die leuchtende Schale der positiven Kohle wird klein und das Licht schwankt in jedem Augenblick.

Vermindert man die Grösse des Lichtbogens durch Anziehen der Feder des Regulators, so wird der äussere Widerstand zu klein und die Maschine unverhältnissmässig warm.

---

1) Eine Modification des Photometers von *Rumford* (p. 87.).

Digitized by Google

Im Allgemeinen muss man, um unter guten Verhältnissen zu arbeiten, untersuchen, bei welchem Abstand der Kohlen der Lichtbogen erlischt, und dann den Regulator auf einen Abstand einstellen, der gleich der Hälfte dieser Distanz ist.

Wie man aus der Tabelle III entnehmen kann, ist die bei 1000 Touren erhaltene Lichtstärke viermal so gross, als bei 700 und zweimal so gross als bei 800 Touren; die verbrauchte Betriebskraft ist per 100 Carcel-Brenner 57,5kgm bei 700 Touren und 26kgm bei 1000 Touren.

Tabelle III.

Einfluss der Tourenzahl der Maschine.

Tourenzahl per Minute.	Länge des Kabels. m	Abstand der Kohlenspitzen. mm	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Lichteinheiten per Pferdekraft.
			Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Lichteinheiten.	
700	100	3	160	320	185	57,81	130
725	100	3	243	486	165	33,95	220
750	100	3	295	590	192	32,54	230
800	100	4	365	730	230	31,65	235
850	100	5	488	976	282	28,39	270
900	100	6	576	1152	330	28,64	260
1000	100	10	646	1292	338	26,16	285

Die in der letzten Tabelle enthaltenen Ziffern sind sehr zufriedenstellend, sie beweisen, dass man 285 Carcel-Brenner per Pferdekraft erhalten kann. Dies ist, so viel uns bekannt, das Maximum der bisher im regelmässigen Betrieb erhaltenen Lichtstärke. Wir haben dieses Resultat nur in einem Experiment überschritten, wo wir uns an der Grenze der Länge des Lichtbogens hielten, aber die Lampe verlöschte dabei häufig.

Die Tabelle IV zeigt den Einfluss des Abstandes der Kohlen, wenn die Tourenzahl und die Länge des Kabels constant bleiben. Das Maximum der Lichtintensität ent-

Digitized by Google

Tabelle IV.
Einfluss des Abstandes der Kohlenspitzen.

Tourenzahl per Minute.	Länge des Kabels. m	Abstand der Kohlenspitzen. mm	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Lichteinheiten per Pferdekraft.
			Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Lichteinheiten.	
750	100	5	351	702	175	25	301
750	100	4	321	642	186	29	259
750	100	3	295	590	192	32,5	281
750	100	2	256	512*	214	41,7	214
750	100	1	225	450	233	51,6	145
750	100	0	140	280	330	117,8	63

spricht hier dem Minimum an Kraftaufwand, wir haben aber bemerkt, dass bei einem Abstand von 5mm das Licht unruhig war und der Regulator bei der geringsten Schwankung der Tourenzahl auslöschte; das dritte Experiment kann für die Praxis verwendet werden, da das Licht dabei sehr regelmässig war.

Wird der Abstand gleich Null, so erfolgt die Erzeugung des Lichtes nur durch das Weissglühen der Kohlen, und es ist dann eine grosse Betriebskraft erforderlich, um ein relativ schwaches Licht zu erzeugen.

In der Tabelle V finden sich Angaben über den Einfluss der Länge der Leitungsdrähte auf die Lichtstärke und die verbrauchte Betriebskraft.

Es wurde dabei möglichst die totale verbrauchte Betriebskraft constant erhalten, und um eine zu rasche Abnahme der Lichtstärke zu verhüten, die Tourenzahl der Lichtmaschine gleichzeitig mit der Zunahme der Länge des Kabels erhöht.

Mit einem Kabel von 2000m Länge, also entsprechend einer Entfernung von Licht und Maschine gleich 1km, erhielten wir die halbe Lichtstärke wie bei einem Kabel von 100m Länge, dies ist ein für manche Anwendungen beachtenswerthes Resultat.

Digitized by Google

Tabelle V.

Einfluss der Länge des Kabels.

(Der Querschnitt des Kabels war bei allen Versuchen 10 Quadrat-Millimeter.)

Tourenzahl per Minute.	Länge des Kabels. m	Abstand der Kohlenspitzen. mm	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Lichteinheiten per Pferdekraft.
			Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Lichteinheiten.	
750	100	4	321	642	186	28,9	267
800	150	5	345	670	230	33,3	225
825	200	5	315	630	232	36,8	178
850	300	5	275	550	225	40,9	183
900	400	5	260	520	241	46,3	162
950	500	5	245	490	230	46,1	160
1000	750	5	236	472	243	51,4	145
1100	1000	5	215	430	256	59,5	126
1350	2000	5	160	320	230	71,8	104

Unsere letzten Experimente, Tabelle VI, beziehen sich auf den Einfluss der Betriebsdauer auf die Lichtstärke. Sie zeigen, dass beim Anlassen der Maschine eine etwas grössere Kraft bei etwas mehr Licht erforderlich ist; dass aber nach einem Betrieb von 15 Minuten man sich in ganz normalen Verhältnissen befindet.

Tabelle VI.

Einfluss der Dauer des Betriebes.

Tourenzahl per Minute.	Länge des Kabels. m	Abstand der Kohlen. mm	Dauer des Betriebes.	Lichtstärke in Carcel-Brennern.		Verbrauchte Betriebskraft in kgm.		Lichteinheiten per Pferdekraft.
				Horizontal gemessen.	Mittel.	Total.	Per 100 mittlere Lichteinheiten.	
750	100	2	Anlassen	199	398	214	53,7	139
750	100	4	15 Minut.	180	380	183	50,8	147
750	100	4	30 „	175	350	194	55,4	135
750	100	4	1 Stunde	181	362	191	53	142
750	100	4	2 Stunden	191	382	192	50,2	149
750	100	4	3 „	190	380	190	50	150

Digitized by Google

Die beim Anlassen beobachtete Differenz erklärt sich aus dem Zustand der Maschine. Die Drähte der Elektromagnete und der Spulen sind kalt und ihr Leitungswiderstand geringer, in Folge dessen auch eine stärkere Induction; nach einiger Zeit erreicht aber die Erwärmung ihr Maximum und die Lichtstärke nimmt dann wieder ein wenig zu.

Im Allgemeinen befindet man sich bei der hier experimentirten Maschine dann unter ausgezeichneten Bedingungen, wenn man bei einer Kabellänge von 100m dem Lichtbogen die Länge von 3mm ertheilt. Man erhält dann als Mittel des zerstreuten Lichtes 590 Carcel-Brenner mit einem Kraftaufwand von 192kgm (2,55 Pferdekraft); dieses entspricht 32,5kgm per 100 Carcel-Brenner oder 231 Carcel-Brenner per Pferdekraft.

Wie sehr die *Gramme*'schen Maschinen seither an Güte gewonnen haben, geht auch aus den beiden folgenden Berichten hervor, welche sich vornehmlich auf Maschinen von *Gramme* und *Siemens* beziehen.

100. Vergleichende Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen. Als man im Jahre 1877 in England beim Lizard-Leuchtthurme vom Oel zur Elektricität überzugehen entschlossen war, liess das Board of Trade (Harbour-Department) eine Reihe vergleichender Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen anstellen, über welche im Jahre darauf der Corporation of Trinity House, London, umfassende Berichte[1]) von *John Tyndall* und *James N. Douglass*, dem Oberingenieur der Corporation, erstattet wurden.

Den vergleichenden Versuchen wurden unterworfen:

1) *Holmes*' magnet-elektrische Maschinen (S. 105) mit alternirendem Strome,
2) eine Alliance-Maschine (S. 99), ebenfalls mit Wechselströmen,

1) Extract from Report of Trinity House, London. Auszug hieraus in *Dingler's* Polyt. Journal, 1878, Bd. 227, S. 201.

Digitized by Google

3) *Gramme*'sche Maschine einzeln,

4) zwei zusammengekuppelte *Gramme*'sche Maschinen,

5) *Siemens*' grosse Maschine,

6) *Siemens*' kleine Maschine,

die drei letzteren waren dynamo-elektrische Maschinen mit gleichgerichtetem Strome. (Vergl. §. 57.)

Die Maschine *Holmes* ist seit 1858 in South Foreland, seit 1862 auf dem Leuchtthurme von Dungeness, so wie auf mehreren anderen Leuchtthürmen Englands, Frankreichs, Russlands, Oesterreichs, Schwedens und im Suez-Canal in Gebrauch.

Die *Siemens*'schen Maschinen waren von *Siemens Brothers* in London, dem Zweiggeschäfte der Berliner Firma, geliefert worden; die *Gramme*'schen Maschinen stammten aus der British Telegraph Manufactory in London (Director: *Robert Sabine*); die Alliance-Maschine befand sich wie die Maschine *Holmes* auf den South Foreland Leuchtthürmen in Gebrauch; letztere sind zwei Thürme, ein niedriger und ein hoher.

Nach einigen Vorversuchen begannen die Arbeiten der aus 6 Mitgliedern bestehenden Commission am 21. November 1876, wo dieselbe auf dem Dampfer Galatea von Dover auslief und in der Entfernung von 18,5 km von South Foreland und von 15,25 km von Dungeness vor Anker ging. Abends zwischen 8 und 11 Uhr wurden zwei Versuchsreihen in folgender Ordnung aufgestellt:

Hoher Leuchtthurm.				Niedriger Leuchtthurm.			
1. *Holmes*' Maschine	. . .	verglichen	mit	*Siemens*' Maschine		Nr. 1 (gr.)	
2. do.	„ . . .	„	„	do.	„	„	2 (kl.)
3. do.	„ . . .	„	„	*Gramme's*	„		
4. do.	„ . . .	„	„	do.	„		
5. *Gramme's*	„ . . .	„	„	*Siemens*'	„	Nr. 1.	
6. *Siemens*'	„ Nr. 1 (gr.)	„	„	*Gramme's*	„		
7. *Gramme's*	„ . . .	„	„	*Siemens*'	„	Nr. 2.	
8. *Siemens*'	„ Nr. 2 (kl.)	„	„	*Gramme's*	„		

Digitized by Google

Jeder Versuch dauerte 10 Minuten. Am folgenden Tage besichtigte die Commission auf den Thürmen die im Gange befindlichen Maschinen, worauf Abends noch zwei Reihen von Versuchen von anderen Puncten der See aus aufgenommen wurden.

Nach diesen Versuchen stellte *Tyndall* die kleine *Siemens*'sche Maschine der viel theureren von *Gramme* in der Lichtwirkung gleich; selbst die grössere *Siemens*'sche Maschine, welche ein bedeutend stärkeres Licht gab, war nicht so theuer als die *Gramme*'sche Maschine, und *Tyndall* schätzt ihr Licht etwa dem der beiden vereinigten *Gramme*'schen Maschinen gleich. Da durch diese Vereinigung die Lichtstärke bedeutend wuchs, wurde im Januar 1877 auch von *Siemens* noch eine kleine Maschine gestellt, damit die beiden kleinen Maschinen von *Gramme* und *Siemens* in ihrer Kuppelung neben einander verglichen werden könnten, weil die vorgängigen Versuche es vermuthen liessen, dass bei einer dem Durchgange des Lichtes ungünstigen Beschaffenheit der Atmosphäre die Benutzung zweier gekuppelten kleinen Maschinen für Leuchtthürme geeigneter sein werde als die einer einzigen grossen Maschine.

Am 17. Januar waren die Vorbereitungen zu neuen Versuchen bei South Foreland vollendet und inzwischen auch vorläufige Messungen der Lichtstärken und des Kraftverbrauches der Maschinen gemacht. Bei dem Photometriren wurde die Flamme der sechsdochtigen, gereinigtes Rüböl brennenden Lampe des Trinity House als Maass benutzt. Dieselbe wurde 30,5 m von der elektrischen Lampe aufgestellt und zu den Messungen ein *Bunsen*'sches Photometer benutzt. Die Maasslampe wurde thunlichst auf der Lichtstärke von 722 englischen Normalkerzen (S. 83) erhalten und ihre Stärke von Zeit zu Zeit durch Kerzen-Messungen controlirt. Die mächtige Flamme der sechsdochtigen Lampe erwies sich als sehr praktisch und trug durch ihr weisses Licht gegenüber der

Digitized by Google

englischen Kerze oder der französischen Carcel-Lampe viel zur Erleichterung und zur grösseren Sicherheit der Messungen bei.

Bei den bei South Foreland und Souther Point benutzten magnet-elektrischen Maschinen mit Wechselströmen werden die beiden Kohlenspitzen gleichmässig verbrannt und beide behalten die in Fig. 245 abgebildete Spitzenform; anders ist es bei den dynamo-elektrischen Maschinen von *Siemens* und *Gramme*, wie wir bereits S. 412 u. ff. näher erörtert haben. Um nun ein Maximum des Lichtes von den Kohlenspitzen nach einer und derselben Seite hin zu erhalten, werden dieselben bei den Leuchtthurmlampen gewöhnlich so gestellt, dass die Achse der unteren Spitze nahezu in derselben Verticalen mit der vorderen Fläche der oberen liegt, wie es Fig. 247 zeigt. Dabei wird ein verdichteter Strahl in einer Richtung ausgesendet, d. h. die von dem elektrischen Lichtbogen ausgehenden Strahlen werden durch geeignete Linsen- und Prismengürtel so gebrochen, dass das gesammte Licht scheibenförmig in einer und derselben Horizontalebene ausgestrahlt wird.

Beim Messen der Lichtstärken in Kerzen gibt *Douglass* stets die mittlere in der Richtung nach dem Photometer erhaltene Stärke, und zwar standen bei der *Alliance-* und der *Holmes*-Maschine die Kohlen mit den Achsen in derselben Verticalen, für die *Siemens-* und *Gramme*-Maschine dagegen stand die vordere Seitenfläche der oberen Kohle nahezu über die Mitte der unteren Kohle; die Verhältnisse waren also für die ersteren Maschinen weit ungünstiger als für die letzteren.

Wenn man der Ansicht von *Douglass* beitritt, dass man die Summe der Intensitäten des nach vorne und nach den beiden Seiten ausgehenden Lichtes als Lichtwerth für die Leuchtthurm-Beleuchtung annehmen und dagegen das rückwärtige Licht vernachlässigen könne, so wäre dieses Mittel

Digitized by Google

nach S. 415 (287 + 116 + 116) : 3 = 173. Bei der Vergleichung der Lichter, welche von den genannten zwei Systemen Lichtmaschinen erzeugt und in den elektrischen Lampen mit verschiedener Kohlenstellung gemessen werden, muss daher eine Reduction des grössern Lichtes im Verhältnisse von 287 : 173 oder um 60 % vorgenommen werden.

Bei den Versuchen am 18. Januar 1877 wurden von jeder Maschine während der Bestimmung der Lichtstärke gleichzeitig Indicator-Diagramme aufgenommen, um daraus die verbrauchte Arbeitsleistung zu bestimmen. Der mittlere Werth der gemessenen Lichtstärke war (ohne die noch vorzunehmende Reduction) bei

	Im verdichteten Lichte. Engl. Normalkerzen.	Im zerstreuten Lichte. Engl. Normalkerzen.
1) *Holmes*-Maschine	1494	1494,
2) do. „	2721	2721,
3) *Alliance*- „	1953	1953,
4) *Gramme*- „	5333	3215,
5) do. „	9126	5501.

Am 19. Januar wurden die *Siemens*'schen Maschinen allein nur gegen *Gramme* und *Holmes* versucht; es ergab sich für

	Im verdichteten Lichte. Engl. Normalkerzen.	Im zerstreuten Lichte. Engl. Normalkerzen.
Nr. 1, *Siemens*-Maschine	14523	8784,
Nr. 2, do. „	5920	3568.

Es verhielt sich die Lichtstärke von einer *Gramme*-Maschine zu der von Nr. 58 (kleinen) Maschine von *Siemens* wie 100 zu 100,6; 1 *Holmes* zu Nr. 58 *Siemens* wie 100 zu 384; in beiden Fällen wurden die Ergebnisse durch Umwechseln der Leitungsdrähte und Lampen geprüft.

Am 20. Januar liess man die *Siemens*-Maschine Nr. 58 mit voller und auch mit halber Geschwindigkeit laufen, aber das Licht war in letzterem Falle so unbeständig, dass es nicht genau gemessen werden konnte. Die relativen Lichtstärken ergaben sich wie folgt:

Digitized by Google

1 *Gramme* gegen Nr. 58 *Siemens*..... wie 100 : 116.
1 *Holmes* „ „ 1 *Siemens*..... „ 100 : 557.
1 do. „ beide *Gramme*-Maschinen „ 100 : 663.

Am 25. Januar fanden noch einige Vorversuche mit der zweiten kleinen *Siemens*-Maschine statt; am 26. Januar wurde das Verhältniss der Lichtstärken für *Siemens* Nr. 58 und 68 ermittelt; dasselbe war wie 100 : 109,5. In der folgenden Nacht begannen dann die Hauptversuche und dauerten Tag für Tag bis zum 6. Februar, und wieder vom 6. März bis 6. April Morgens. Dieselben beschäftigten sich fast ausschliesslich mit Vergleichen zwischen den Maschinen *Gramme* und *Siemens*, und der genannte Report enthält alle Resultate bezüglich der Lichtstärke, des Kraftverbrauches der Maschinen, des Verbrauches an Kohlenstäbchen, der Erhitzung und des Ganges der Maschinen, der Tourenzahlen etc.

Unter Anderm wurde auch der Verlust an Licht gemessen, welchen jede der Maschinen *Holmes*, *Gramme* und *Siemens* durch die Leitung des Stromes aus dem Maschinenraum zur Lampe auf dem hohen und dem niedrigen Leuchtthurme, d. h. auf eine Entfernung von bezw. 211,7m und 180,6m erlitt. Es waren vorhanden zwei dünne Kabel aus je sieben Kupferdrähten Nr. 14 (der Birminghamer Drahtlehre) für eine einzelne *Holmes*-Maschine, und ein dickeres zum Gebrauche für zwei Maschinen, aus 19 Kupferdrähten Nr. 16. Bei den Versuchen mussten die beiden dünnen Kabel verbunden werden, um den Strom von der Maschine im Maschinenraume durch beide Leuchtthürme nach der Lampe im Maschinenraume zu leiten; die Länge der Leitung war also 392,6m; der Lichtverlust betrug bei

der *Holmes*-Maschine.....29,8 %
„ *Gramme*- „ .....58,6 „
„ *Siemens*- „ .....80,4 „

Digitized by Google

Die verhältnissmässigen Verluste für jeden Leuchtthurm einzeln würden daher entsprechend den Verhältnissen der Leitungen (392,2 : 211,7 und 392,2 : 180,6) sein:

	Hoher Leuchtthurm.	Niedriger Leuchtthurm.
für die *Holmes*-Maschine	16,1 %,	13,7 %
„ „ *Gramme*- „	31,3 „	27,0 „
„ „ *Siemens*- „	43,4 „	37,0 „

Die Versuche wurden wiederholt mit einer *Gramme*'schen Maschine, jedoch die beiden dünneren Kabel zu einem einzigen verbunden und dieses an das dicke zu einer einzigen Leitung von 392,2m Länge angesetzt. Der Lichtverlust betrug für ein solches Kabel 46,3 % oder 12,3 % weniger als für das dünne Kabel. Zu bemerken ist noch, dass die *Holmes*-Maschinen für die beiden Fälle, dass die Länge der Leitung 211,7m und 180,6m betrug, verschieden gebaut waren.

Am 6. März wurden die Messungen fortgesetzt, nachdem die Collector-Scheiben und die Bürsten in den *Siemens*'schen Maschinen durch neue ersetzt worden waren; die Licht-Intensitäten betrugen

bei Nr. 58 *Siemens*-Maschine	4 446	Normalkerzen,
„ „ 68 „ „	6 563	„
für beide Maschinen zusammen..	11 009	Normalkerzen,
Nr. 58 und 68 zusammengekoppelt..	13 179	„

Die beiden vereinten Maschinen gaben also 19,7 % Licht mehr als beide zusammen, jede einzeln genommen. Ferner lieferte die *Siemens*-Maschine Nr. 68

	engl. Normalkerzen
1) wenn die Kohlenachsen in derselben Verticalen lagen (Fig. 246)	2021
2) wenn die Achse der unteren Kohle in der Ebene der Vorderfläche der oberen Kohle lag (Fig. 247), beim Vorderstrahl	5804

Digitized by Google

3) desgl. 90° von Nr. 2, beim Seitenstrahl 2346
4) desgl. 180° von Nr. 2, beim Rückstrahl. 772.

Die *Holmes*- und die *Alliance*-Maschine verloren durch Abschwächung des Magnetismus der Stahlmagnete seit ihrer Aufstellung bei South Foreland im Jahre 1872 beträchtlich an Strom- und Lichtstärke. Beide Verluste stehen nahezu in demselben Verhältnisse und betragen bei der *Holmes*-Maschine etwa 22, bei der *Alliance*-Maschine etwa 10 %.

In nachstehender Tabelle sind die wichtigeren Resultate der eben besprochenen Versuche übersichtlich zusammengestellt (s. f. S.):

Konnte die englische Commission des Jahres 1877 ihr Urtheil dahin abgeben, dass die *Siemens*-Maschinen diejenigen *Gramme's* Modell 1873 übertrafen, so musste eine andere in den Jahren 1879/1880 gebildete englische Commission der Militär-Ingenieurschule in Chatham die im §. 49 behauptete Vervollkommnung der *Gramme*'schen Maschinen unbedingt bestätigen. In Folge der steigenden Wichtigkeit der neueren elektrischen Lichtapparate für militärische Zwecke sah sich nämlich das englische Kriegsministerium veranlasst, die Frage aufzuwerfen, welche der bis jetzt vorliegenden Gesammteinrichtungen am besten den militärischen Bedürfnissen entspreche, und beauftragte daher die genannte Schule, eine grössere Anzahl bezüglicher Apparate eingehenden Versuchen zu unterziehen. Dieselben gewinnen besonders dadurch an Werth, dass ein ähnlich umfangreiches Material noch Niemandem zu Gebote stand; ausserdem sind die schliesslich gewonnenen Ergebnisse einer sehr bedeutenden Zahl von Beobachtungen entnommen.

Eine Wiedergabe des Berichtes an dieser Stelle ist aus mehrfachen Gründen nicht möglich. Schon S. 210 und S. 248 haben wir die Beurtheilung der *Gramme*- und *Siemens*-Maschine aus demselben mitgetheilt und fügen noch zur Vervollständigung die folgende Tabelle mit den wichtigsten Resultaten der Messungen dieser Commission bei (s. S. 455).

Digitized by Google

Name der Maschine.	Preis.	Maasse in mm.			Gewicht.	Kraftverbrauch in Pferdekraft.	Umdrehungen in der Minute.	Lichtstärke in Normalkerzen, engl.		Lichtstärke auf 1 Pferdekraft in Normalkerzen, engl.		Querschnitt der Kohlenspitzen	Rangnummer.
		Länge.	Breite.	Höhe.				verdichteter Strahl.	zerstreuter Strahl.	verdichteter Strahl.	zerstreuter Strahl.		
	ℳ				kg.							mm. mm.	
Holmes	11 000	1499	1321	1575	2607	3,2	400	1 523	1523	476	476	9,5 × 9,5	6
Alliance	9 880	1321	1372	1473	1851	3,6	400	1 953	1953	543	543	9,5 × 9,5	5
Gramme Nr. 1	6 400	787	787	1245	1295	5,3	420	6 663	4016	1257	758	12,7 × 12,7	4
Gramme Nr. 2	6 400	787	787	1245	1295	5,7	420	6 663	4016	1257	758	12,7 × 12,7	4
Siemens, grosse	5 300	1143	737	356	592	9,8	480	14 818	8932	1512	911	17,5 × 17,5	3
Siemens, kleine Nr. 58 .	2 000	660	737	254	191	3,5	850	5 539	3339	1582	954	12,7 × 12,7	2
Siemens, kleine Nr. 68 .	2 000	660	737	254	191	3,3	850	6 864	4138	2080	1254	12,7 × 12,7	1
Zusammen:													
2 *Holmes*	22 200	2997	1321	1575	5214	6,5	400	2 811	2811	432	432	12,7 × 12,7	—
2 *Gramme*	12 800	1575	787	1245	2591	10,5	420	11 396	6869	1085	654	17,5 × 17,5	—
2 *Siemens* (Nr. 58 u. 68) .	4 000	1321	737	254	381	6,6	850	14 134	8520	2141	1291	17,5 × 17,5	—

Digitized by Google

Mittelwerthe der Stromstärken, elektromotorischen Kräfte, der gesammten und der Nutzarbeit, der Lichtstärken, Kraftverbrauch und Preise der versuchten Stromerzeuger.

Stromerzeuger.	Touren-zahl.	Strom-stärke. *Weber.*	Elektro-motorische Kraft. *Volt.*	Kraft-verbrauch in Pferde-stärken.	Procentsatz der im Strom-kreise gewonnenen elektrischen Arbeit.	Geleistete Nutzarbeit im Lichtbogen in Procenten.	Licht-stärke in Normal-kerzen.	Preis in Pfund Sterling.	Bemerkungen.
Zwei *Siemens*, mittlerer Grösse, neben einander geschaltet	680	83,9	79,55	13,4	73 [1]	39,49	19 140	244	
Gramme, Modell *D* . . .	500	93,78	88,72	15,1	89	47,79	27 500	360	
„ „ „ . . .	475	91,29	83,77	12,7	88	46,37	22 500	360	Die betreffenden Licht-messungen erfolgten mit geneigten Kohlenstäben.
„ „ *C* . . .	1200	81,22	69,9	9,52	85	54,48	19 500	240	
Zwei *Gramme*, Modell *A*, neben einander geschaltet	875	68,8	88,7	9,55	88	41,71	18 300	160	
Wilde, Marine-Modell . .	500	—	—	6,50	—	—	5 700	450	Gesammtlicht zweier Lampen mit Reflectoren.

1) Es wurde durch andere Experimentatoren mit Stromerzeugern derselben Gattung ein höherer Procentsatz erzielt.

Digitized by Google

Reduciren wir die angegebenen mittleren Lichtstärken auf die Krafteinheit, so finden wir:

	Lichtstärke auf 1 Pferdekraft.
zwei *Siemens* neben einander eingeschaltet .	1428
Gramme, Modell *D*	1821
„ „ *C*	2048
zwei *Gramme* neben einander eingeschaltet .	1916
Wilde	877

Es ist hiernach die auf die Krafteinheit gewonnene Lichtmenge bei den zwei *Siemens*-Maschinen um 31 % kleiner wie bei *Gramme C*, während sich die Procentsätze der von beiden Maschinen im Stromkreise geleisteten Arbeit nur um 14 % unterscheiden.

Erstreckten sich die Versuche der englischen Commission im Wesentlichen auf die Maschinen *Gramme* und *Siemens*, so unterwarfen americanische Commissionen neben diesen auch solche Lichtmaschinen einer eingehenden Prüfung, welche in der letzten Zeit vielfach in die Praxis eingeführt wurden und nach dem Urtheile competenter Fachmänner die Beachtung aller Elektrotechniker verdienen. Eine von dem Franklin-Institute ernannte Commission untersuchte neben einer *Gramme*-Maschine die in den §§. 41 und 64 beschriebenen Maschinen von *Brush* und *Wallace Farmer* und berichtete über ihre Versuche im Journal der genannten Gesellschaft 1878, Bd. 105, S. 289 u. 361;[1]) wir unterlassen jedoch auch nur auszugsweise zu berichten, da die *Gramme*'sche Maschine von der Construction Modell 73 war, und entnehmen dem Schlussurtheile nur folgende Stellen:

1) Die *Gramme*'sche Maschine ist sehr ökonomisch hinsichtlich der Umsetzung der Kraft in elektrischen Strom; Verlust durch Reibung und Localwirkung ist am kleinsten, da die Geschwindigkeit verhältnissmässig

1) Vgl. auch *Dingler's* Polyt. Journal, Bd. 230, p. 27.

Digitized by Google

klein ist. Bei normal erhaltenem Widerstande im Lichtbogen ist die Erwärmung der Maschine gering und am Stromsammler treten keine Funken auf.

2) Nach ihr folgt die grosse *Brush*-Maschine im Wirkungsgrade; bei ihrer grossen Geschwindigkeit aber ist der Verlust durch Reibung verhältnissmässig grösser.
3) Nach dem Wirkungsgrade die dritte ist die kleine *Brush*-Maschine; sie eignet sich ganz vortrefflich zur Erzeugung starker Ströme; die Erwärmung ist nicht beträchtlich.
4) Die *Wallace-Farmer*-Maschine gibt nicht so viel Arbeit wieder als die anderen Maschinen, obgleich sie grosse Kraft in einem kleinen Raume nutzbar macht. Bei ihr sind die localen Wirkungen beträchtlich.

Eine andere americanische Commission, welcher Prof. *Morton* präsidirte, untersuchte Maschinen von *Maxim*, §. 60, *Siemens*, §. 57, *Weston*, §. 59, und *Brush*, §. 41, welche in Bezug auf Grösse und allgemeine Anordnungen sehr ähnlich sind und so ziemlich als parallele Arten derselben Construction betrachtet werden können.

Morton berichtete über die mit den genannten Maschinen in Verbindung mit verschiedenen Lampen angestellten Versuche,[1]) deren einer nicht unbedeutenden Anzahl von Beobachtungen entnommenen Ergebnisse in folgender Tabelle zusammengestellt sind:

[1]) Reports on The Topophone and The Electric Light by Professor *Henry Morton*, Washington, 1880.

Digitized by Google

Maschine.	Lampe.	Lichtstärke in Kerzen.	Kraftverbrauch in Pferdekräften.	Lichtstärke auf eine Pferdekraft.
Maxim (kleine Maschine)	*Maxim*	3297	5,483	729
Maxim	*Hand-lamp* . .	3930	5,585	704
Siemens	*Siemens*	4651	4,863	956
Siemens	*Maxim*	4548	4,742	959
Weston	*Hand-lamp* . .	8585	4,769	1800
Weston	*Maxim*	7787	4,683	1663
Weston	*Siemens*	7262	5,056	1436
Weston	*Weston*	6063	4,552	1332
Maxim (grosse Maschine)	*Maxim*	7524	7,400	1017
Brush	*Brush*	4365	2,8467	1533
Brush	*Siemens*	3532	2,9573	1194

wonach die in §. 59 bereits gerühmte Maschine die beste der untersuchten Maschinen ist.

101. Versuche auf der elektrischen Ausstellung in Paris 1881. Während der elektrischen Ausstellung in Paris machte eine Commission, bestehend aus den Herren *Allard*, *Joubert*, *Le Blanc*, *Potier* und *Tresca* Versuche mit den ausgestellten Lampen und Maschinen. Sie theilten ihre Resultate der Académie des Sciences mit in den Sitzungen derselben vom 30. October, 6., 12. und 20. November 1882. Es sind dies die vollständigsten Versuche, welche bis jetzt publicirt worden sind. Auf jener Ausstellung war aber auch zum ersten Male Gelegenheit geboten, so viele Systeme von Maschinen und Lampen zu vergleichen. Wir schicken folgende Bemerkungen über die bei den Messungen gebrauchten Einheiten voraus:

Die Einheit der Arbeit ist die Pferdekraft zu 75 Kilogramm-Meter per Secunde.

Digitized by Google

Die elektrische Arbeit in der ganzen Leitung oder einem Theil derselben, z. B. einer Bogenlampe, wird aus Stromstärke, Widerstand und Spannung berechnet und in elektrischen Pferdestärken (P. S.) angegeben.[1])

Der totale mechanische Nutzeffect ist gleich dem Verhältniss der elektrischen Energie in Pferdestärken $\frac{Volt \times Ampère}{735{,}7}$ zu der von der Maschine verbrauchten mechanischen Energie. Bei der letzteren ist derjenige Theil abgezogen, welcher für die mechanische Transmission der Kraft vom Motor zur Dynamomaschine verbraucht wird.

Der mechanische Nutzeffect der Lichtbogen ist das Verhältniss der von den Lichtbogen absorbirten elektrischen Energie zu der vom Motor gelieferten mechanischen Arbeit.

Der elektrische Nutzeffect der Lichtbogen endlich ist das Verhältniss zwischen der von den Lichtbogen absorbirten elektrischen Energie zu der totalen elektrischen Energie.

Der Vergleichung der Lichtmengen, welche von einer mechanischen Pferdestärke, einer Pferdestärke der totalen elektrischen Arbeit, oder der elektrischen, in den Lichtbogen absorbirten Arbeit entspricht, ist die sogenannte mittlere sphärische Lichtintensität zu Grunde gelegt. Diese wird so erhalten, dass man die Lichtintensität nach allen möglichen Richtungen misst und diese Intensitäten so lange gegenseitig ausgleicht, bis sie nach allen Richtungen gleich werden. Das ist die einzige Methode, welche eine richtige Würdigung der von einer Lichtquelle ausgestrahlten totalen Lichtmenge gestattet. Die so erhaltenen Zahlen sind natürlich viel kleiner als diejenigen, welche gewöhnlich von den Fabricanten angegeben werden. Die letzteren messen

1) Siehe p. 69.

Digitized by Google

nämlich nach derjenigen Richtung, wo die Intensität am grössten ist.

Die Resultate der Messungen, welche die französische Commission mit Maschinen und Lampen für continuirlichen Strom ausgeführt hat, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.[1]) Die Messungen wurden mit grosser Sorgfalt vorgenommen, aber sie sind nicht unabhängig von äussern Zufälligkeiten, so z. B. musste bei verschiedenen Versuchen künstlicher Widerstand in die Leitung eingeschaltet werden, um den Strom abzuschwächen, weil der Photometerraum zu klein war, um die vom ursprünglichen Strom gelieferte Lichtmenge messen zu können. Unter diesen Umständen ist die wichtigste Zahl der totale mechanische Nutzeffect, und die Commission macht besonders darauf aufmerksam, dass derselbe nach ihren Versuchen ein ungemein günstiger sei. In der That liefert die *Jürgensen*-Maschine 97% der auf sie übertragenen mechanischen Arbeit in der Energie des erzeugten elektrischen Stromes. Dies ist ein Güteverhältniss, welches bei keiner andern Energietransformation nur annähernd erreicht wird. Um richtige Schlüsse aus den übrigen Zahlen der Tabelle zu ziehen, müssen besonders die Widerstandsverhältnisse genau erwogen werden.

1) Comptes rendus 30. October 1882, p. 747.

Digitized by Google

Versuche mit Maschinen und Lampen für continuirlichen Strom auf der Elektricitäts-Ausstellung in Paris 1881.

	I. *Gramme.* 1 Lampe.	II. *Jürgensen.* 1 Lampe.	III. *Macim.* 1 Lampe.	IV. *Siemens.* 1 Lampe.	V. *Siemens.* 2 Lampen.	VI. *Bergm.* 3 Lampen.	VII. *Gramme.* 3 Lampen.	VIII. *Gramme.* 5 Lampen.	IX. *Siemens.* 5 Lampen.	X. *Weston.* 10 Lampen.	XI. *Brush.* 16 Lampen.	XII. *Brush.* 40 Lampen.	XIII. *Brush.* 38 Lampen.
Tourenzahl der Maschine per Minute	475	800	1017	737	1330	1535	1695	1496	826	1003	770	700	705
Kraftverbrauch (Pf.-St.)	16,13	21,68	4,07	4,44	5,31	5,32	8,11	8,00	5,05	13,01	13,39	29,96	33,35
Widerstand der Maschine *(Ohm)*	0,33	0,45	0,76	0,66	1,68	2,80	0,52	4,57	7,05	1,88	10,55	22,38	22,38
Widerstand der Leitung ohne die Lampen	0,10	0,82	0,25	0,12	0,13	1,50	1,25	0,62	4,50	1,50	2,56	2,60	7,90
Totaler Widerstand ohne die Lampen	0,43	1,27	0,95	0,78	1,81	4,30	1,77	5,19	11,55	3,38	13,11	24,98	30,28
Stromstärke *(Ampère)*	109,2	90	33	35	26,2	18,5	19,0	15,3	10,00	23	10	9,5	9,5
Spannung an der Lampe *(Volt)*	53,0	58	53	53	44,5	41	53	49,8	47,4	32	44,3	44,3	44,3
Arbeit im Leitungskreise (ohne die Lampen) (P. S.)	6,97	13,99	1,41	1,99	1,69	2,00	0,87	1,65	1,57	2,43	1,79	3,07	3,72
Arbeit in einer Lampe (P. S.)	7,87	6,97	2,31	2,52	1,59	1,06	1,369	1,04	0,64	1,00	0,60	0,547	0,547
Arbeit in allen Lampen (P. S.)	7,87	6,97	2,31	2,52	3,18	3,08	4,11	5,20	3,20	10,00	9,60	21,88	20,79
Totale elektrische Arbeit	14,84	20,96	3,72	3,81	4,87	5,08	4,98	6,85	4,77	12,43	11,39	24,95	24,51
Gesammte elektromotorische Kraft *(Volt)*	102	172	84	80	136	203	193	328	353	398	840	2009	1971
Durchmesser der Kohlen (mm)	20	23	12	18	14	13	14	12	10	9	11	11	11
Horizontale Lichtstärke *(Carcel)*	952	607	246	210	142	50	155	112	67	92	97	63	63
Maximale Lichtstärke *(Carcel)*	1960	—	465	805	537	227	357	184	72	154	76	78	78
Mittlere Lichtstärke einer Lampe	966	688	239	306	205	82	167	102	52	85	38	39	39
„ „ aller Lampen	966	688	239	306	410	246	501	510	260	850	608	1560	1482
Totaler mechanischer Nutzeffect	0,92	0,97	0,91	0,86	0,92	0,95	0,62	0,86	0,94	0,95	0,85	0,83	0,73
Mechanischer Nutzeffect der Lichtbogen	0,43	0,32	0,57	0,57	0,60	0,58	0,51	0,65	0,63	0,77	0,72	0,73	0,62
Elektrischer „ „ „	0,53	0,33	0,62	0,66	0,65	0,61	0,83	0,76	0,67	0,80	0,84	0,87	0,85
Lichtmenge per mechanische Pferdestärke *(Carcel)*	60,0	31,7	58,7	68,9	77,2	46,2	61,8	63,8	51,5	65,3	45,4	52,1	44,4
„ „ elektrische „	65,1	32,8	64,2	80,3	84,2	48,4	100,4	74,5	54,6	68,4	53,4	62,6	60,5
„ „ Lichtbogen	128,8	98,7	103,5	121,4	129,3	79,9	121,6	98,1	81,3	85,0	63,3	71,7	71,4
„ „ *Ampère*	8,85	7,64	7,24	8,74	7,82	4,43	8,79	6,67	5,20	3,70	3,80	4,11	4,11

Digitized by Google

IX. Abtheilung.

Die elektrischen Lampen mit Lichtbogen

(zur Verwendung bei Einzellichtern).

Wenn man daran denkt, das elektrische Licht zu Beleuchtungszwecken zu verwenden, drängt sich als erstes Erforderniss eine Vorrichtung auf, durch welche die Kohlenstäbe, zwischen denen der Lichtbogen sich bildet, in demselben Maasse einander genähert werden, wie sie durch die Hitze desselben abbrennen. Zur Entstehung und Erhaltung dieses Lichtbogens ist jedoch dreierlei erforderlich: 1) dass sich die Kohlenspitzen beim ersten Durchgange des elektrischen Stromes berühren; 2) dass sie sich, nachdem sie durch den Strom glühend geworden sind, von einander entfernen, und 3) dass diese Entfernung die richtige, von der Stärke des Stromes abhängige Grösse habe und unverändert beibehalte. Wenn dann noch verlangt wird, dass der Lichtbogen auch dieselbe Lage im Raume behalten soll, z. B. dass er stets im Brennpuncte oder im Mittelpuncte eines Hohlspiegels, einer Linse u. s. w. bleibe, so kommt damit noch eine vierte Anforderung an die Regulir-Vorrichtung hinzu. Endlich verlangt man von einem solchen Apparate, dass er das Licht wenigstens 4 Stunden unterhalte, ohne dass es nöthig wird, neue Kohlen einzusetzen, und daher bei einem Kohlenverbrauche von 6—8cm per Stunde eine Brennlänge

Digitized by Google

von mindestens 30cm besitze; ferner dass er selbst in weiten Grenzen sich auf die Stromstärke schnell und leicht einreguliren lasse, dass er gegen das Eindringen von Staub vollständig geschützt, dass die gesammte Construction möglichst einfach, die Handhabung aller Theile leicht und der Preis niedrig sei.

Je vollkommener den genannten Anforderungen von der Lampe entsprochen wird, desto gleichmässiger und ruhiger ist das erzeugte Licht, und es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass alle zu dieser Regulirung erforderlichen Bewegungen ohne das Zuthun der menschlichen Hand ausschliesslich durch die Mechanismen der Lampe unter Mitwirkung des elektrischen Stromes ausgeführt werden müssen.

Wir besitzen heute eine grosse Zahl von elektrischen Lampen, welche den genannten Anforderungen mehr oder minder entsprechen, und unter diesen finden sich wahre Meisterwerke der Mechanik. Es kann jedoch unsere Aufgabe nicht sein, in eine nähere Beschreibung derselben einzugehen; noch weniger Interesse hätte es, die einzelnen Constructeure namhaft zu machen oder die Principien zu erläutern, welche den verschiedenen Constructionen zu Grunde liegen. Indem wir daher in dieser Beziehung auf die Schriften von *Fontaine*, *Du Moncel* u. A. verweisen, welche diesen Gegenstand sehr ausführlich behandeln, beschränken wir uns darauf, in dem Nachfolgenden nur diejenigen elektrischen Lampen eingehend zu behandeln, welche sich vor allen anderen einer grossen Verbreitung erfreuen und gegenwärtig fast ausschliesslich zur praktischen Verwendung kommen.

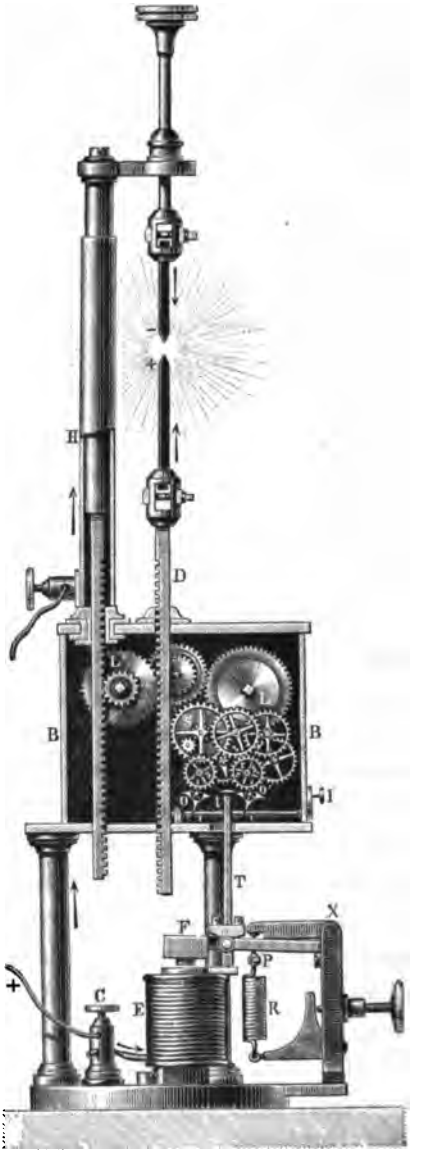
102. Die elektrische Lampe von Foucault und Duboscq. Die elektrische Lampe von *Foucault*, welche noch heute in der berühmten mechanischen Werkstätte von *Duboscq* zu Paris in vorzüglicher Güte ausgeführt wird, kann als derjenige Apparat betrachtet werden, welcher die Aufgabe der

Digitized by Google

selbstthätigen Regulirung des elektrischen Lichtes zuerst praktisch gelöst hat und zwar dadurch, dass der das Licht erzeugende Strom um einen Elektromagnet geleitet wird und durch das Ab- und Zunehmen seiner Intensität eine entsprechende Veränderung in der Anziehungskraft auf den Anker hervorruft.

Der Apparat, der in Figur 252 in verticalem Durchschnitte, in Figur 253 (S. 469) in perspectivischer Ansicht abgebildet ist, ist ein Meisterwerk der Mechanik und, obgleich anfänglich nur für die Regulirung von Batterieströmen und vorzugsweise für die Anwendung des elektrischen Lichtes zu wissenschaftlichen Zwecken, zu Vorlesungsversuchen und zu Theater-Effecten construirt, doch von so allgemeiner Anwendung, dass er unter allen Instrumenten ähnlicher Art wohl die grösste Verbreitung gefunden hat.

Fig. 252.



Die elektrische Lampe von Foucault und Duboscq.

Digitized by Google

Der elektrische Strom tritt bei der +Klemme *C* (Fig. 252) in die Lampe ein, gelangt von hier zu dem Umwindungsdrahte des Elektromagnets *E*, tritt dann in den ganzen metallischen Körper *B B* des Apparates und dadurch in den Träger *D* der positiven (unteren) Kohle. Da die —Klemme in metallischer Verbindung steht mit dem isolirten Träger *H* der negativen (oberen) Kohle, so ist klar, dass die Leitung geschlossen ist und der Strom circulirt, sobald die beiden Kohlenstäbchen sich berühren oder nur so weit von einander entfernt sind, dass sich der Volta'sche Flammenbogen zwischen ihnen ausbildet.

Um nun das Spiel des ganzen Apparates zu verstehen, haben wir unser Augenmerk wesentlich auf drei besondere Mechanismen zu richten: auf den anziehenden Elektromagnet *E*, auf den durch eine Gegenfeder *R* angezogenen Anker *F* und auf zwei Rädersysteme, welche die Kohlenträger in Bewegung setzen.

Die starke Feder *R* wirkt nicht unmittelbar auf den Anker, sondern zunächst auf das Ende eines um *X* drehbaren Metallstückes, welches auf seiner unteren Seite derartig gekrümmt ist, dass bei seinem Niedergange immer andere dem Drehpuncte *X* näher oder ferner liegende Puncte mit dem Ankerhebel in Berührung kommen. Der von der Feder *R* auf *P* ausgeübte und auf den darunter liegenden Ankerhebel fortgepflanzte Druck greift daher bei dem Niedergange des Ankers denselben in verschiedenen Puncten und folglich mit ungleicher Kraft an. Wenn nun die Stärke des Stromes aus irgend einem Grunde abnimmt, so beginnt die Anziehungskraft des Elektromagnets nachzulassen und die Kraft der Feder *R* fängt an, das Uebergewicht zu bekommen; ihr Druck auf den Ankerhebel entfernt den Anker selbst von dem Elektromagnet, und diese Entfernung erfolgt wegen der Krümmung des obern Hebels *X* und der nur langsam anwachsenden Zugkraft der Feder nicht plötzlich,

Digitized by Google

sondern allmählich; der Anker selbst und die auf ihm befestigte verticale Arretirungs- und Auslösestange T machen daher keine plötzlichen Bewegungen, und die Aenderungen im Lichtbogen erfolgen aus diesem Grunde nicht stossweise, sondern langsam zu- oder abnehmend.

Unter dem Einflusse der beiden Kräfte, der Anziehungskraft des Elektromagnets E und der entgegengesetzt wirkenden Kraft der Abreissfeder R muss der Anker zwischen zwei Grenzstellungen so zu sagen in der Schwebe bleiben. Diese Stellung des Ankers ist gewissermaassen der Ausdruck der Stromstärke; so lange dieselbe die gewünschte und der erforderlichen Länge des Lichtbogens entsprechende Grösse behält, muss auch der Anker im Gleichgewichte verharren und jedwede Annäherung oder Entfernung der Kohlenspitzen verhindern; sobald aber der Strom zu stark oder zu schwach wird, muss sofort eine Entfernung oder eine Annäherung der Kohlen eintreten. Es wird dieses auf folgende Weise erreicht:

Das auf dem Anker sitzende und mit ihm oscillirende verticale Stäbchen T endigt im Innern der Lampe in ein nach beiden Seiten in eine Schneide auslaufendes Plättchen t, welches durch seine bald nach rechts, bald nach links gehende Bewegung das eine oder das andere Laufwerk der Lampe frei macht, bezw. arretirt. L' ist das Federhaus, durch dessen Federkraft zwei in die Zahnstangen H und D eingreifende Räder in Bewegung gesetzt werden; da diese Zahnstangen die Träger der Kohlenstäbchen sind und auf entgegengesetzter Seite der Räder liegen, so müssen sich die Kohlenspitzen entweder näher rücken oder von einander entfernen, je nachdem die Räder sich in dem einen oder dem andern Sinne drehen. Die Durchmesser der Räder verhalten sich wie 2 zu 1; dasselbe Verhältniss haben daher auch die Geschwindigkeiten der Zahnstangen und der Kohlenstäbchen selbst. Das Federhaus L' überträgt seine Bewegung auf

Digitized by Google

fünf andere Räder, unter denen das letzte o' einen sternförmig gestalteten Windfang bildet, welcher durch die rechts liegende Schneide des Stabes T arretirt wird, wenn die Kraft der Feder R die Anziehungskraft des Elektromagnets E überwindet und den Anker F vom Pole entfernt.

Wenn umgekehrt das Stück T in Folge des Ankeranzuges nach links geht, wird o' frei und damit das ganze unter der Wirkung der Federkraft von L' stehende Laufwerk in Bewegung gesetzt; in diesem Falle drehen sich die beiden ersten Zahnräder in einer solchen Richtung, dass dadurch die Kohlenspitzen sich von einander entfernen.

L ist ein zweites Federhaus mit einem Systeme von Rädern, deren letztes der sternartige Windfang o ist. Das ganze System dieser Räder wird arretirt, wenn die links liegende Schneide von t den Windfang anhält, und dieses geschieht offenbar, wenn der erste Windfang o' eben frei geworden ist. Zwischen diesen beiden Systemen, welche in o und o' endigen, liegt ein sogenanntes Satelliten-Rad S, welches mit den beiden genannten Radsystemen derart im Eingriffe steht, dass es gleichzeitig die Bewegung des einen Laufwerkes frei lässt, wenn es die des andern hemmt. Wird durch den Eingriff von t in o' der Windflügel o frei, so tritt L in Thätigkeit; unter der Mitwirkung des Satelliten-Rades S erfolgt dann die Drehung der ersten Räder von L' in umgekehrter Richtung, als es geschieht, wenn o arretirt und o' frei wird. Die Kohlenträger H und D bewegen sich dadurch ebenfalls in der entgegengesetzten Richtung, als es vorhin beschrieben war, und die Kohlenspitzen nähern sich einander.

Wenn der Lichtbogen diejenige Länge hat, welche der Stromstärke entspricht und welche man dadurch erhält, dass man durch Anspannen oder Nachlassen der Feder R das Gleichgewicht zwischen der Anziehungskraft des Elektromagnets und der Abreisskraft der Feder herstellt, so schwebt

Digitized by Google

der Anker über seinem Pole, der Stab T steht vertical und seine beiden Schneiden arretiren die Windflügel o' und o gleichzeitig.

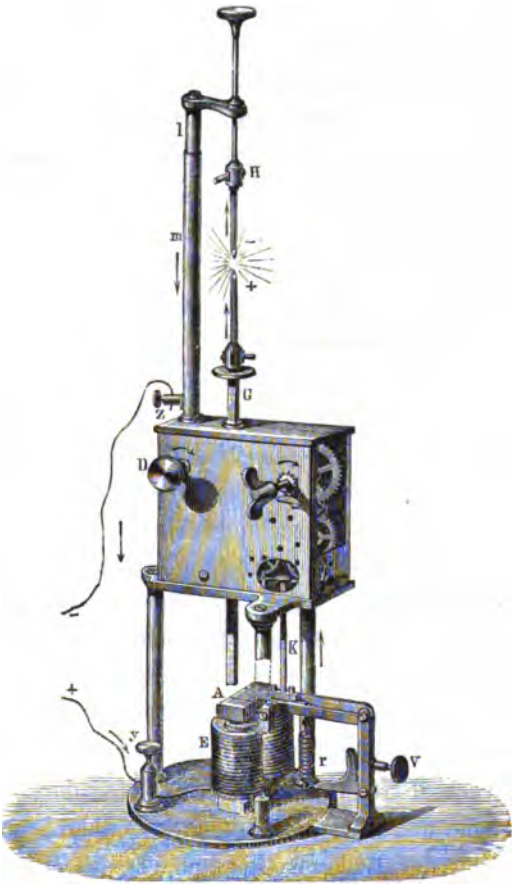
Durch Abbrennen der Kohlenstäbchen wird der Lichtbogen und der Widerstand im Stromkreise grösser; der Anker wird mit geringerer Kraft von dem Elektromagnet angezogen, aber er wird nicht plötzlich abgerissen, sondern er folgt wegen der Krümmung des Hebels X der langsam zunehmenden Wirkung der Abreissfeder, bis er schliesslich so hoch kommt, dass die rechts liegende Schneide t in o' eingreift und o frei macht; das links liegende Räderwerk L' setzt sich in Bewegung und die Kohlenspitzen nähern sich einander. Der Strom nimmt dadurch wieder an Stärke zu, die Anziehungskraft des Elektromagnets wächst ebenfalls langsam an, der Anker F geht abwärts, der Stab T geht nach links, und bald, wenn die Stromstärke eine gewisse Grenze überschreitet, d. h. wenn die Kohlenspitzen sich mehr nähern, als es gewünscht wird, verlässt die rechts liegende Schneide von t das Flügelrad o' und greift in o ein. Das links liegende Räderwerk steht still, die Annäherung der Kohlenspitzen hört auf, dagegen setzt sich unter Mitwirkung des Rades S das rechts liegende Räderwerk L in Bewegung und die Kohlen entfernen sich wieder von einander. Die Regulirung der Feder geschieht durch eine Schraube V (Fig. 253) und einen dagegen stossenden Winkelhebel.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass die Kohlenstangen H und D unter dem Einflusse der beiden Räderwerke sowohl sich nähern, als auch sich von einander entfernen, und dass diese Bewegungen immer nur in sehr engen Grenzen erfolgen können, so dass der Lichtbogen, wenn er einmal durch Regulirung der Feder R die der Stromstärke angemessene Länge erreicht hat, diese Länge unverändert beibehält. Da ausserdem die Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Kohlenstäbchen bewegen, dasselbe Verhältniss haben

Digitized by Google

wie die Grösse ihres Verbrauches, so bleibt der Lichtbogen auch stundenlang genau an derselben Stelle, welche man ihm beim Beginne seines ersten Aufleuchtens angewiesen hat. Der Apparat hat ausserdem noch zwei Einrichtungen, dass

Fig. 253.



Die elektrische Lampe von Foucault und Duboscq.

man die Kohlenstäbchen selbst während der Thätigkeit der Lampe mit der Hand verschieben kann. Vermittelst der Schraube *D* (Fig. 253) kann man nämlich die beiden Zahnstangen (*D* und *H* in Figur 252) unabhängig vom Räder-

Digitized by Google

werke auf- und abbewegen, und durch eine auf der entgegengesetzten Seite der Lampe befindliche zweite Schraube ist die obere Zahnstange allein beweglich. Der Experimentirende hat es hierdurch in der Hand, vor der Einführung des Stromes in die Lampe durch Einstellen der beiden Kohlenspitzen dem Lichtbogen in der Lampe eine ganz bestimmte Stelle zu geben, welche in der Regel durch die Linsen oder Prismen des Beleuchtungs-Apparates bedingt ist.

Soll die *Foucault*'sche Lampe bei Wechselströmen gebraucht werden, wobei die Abnutzung der beiden Kohlenspitzen gleich stark ist, so muss die Construction einfach dahin abgeändert werden, dass die beiden Räder, welche die Zahnstangen führen, gleiche Durchmesser haben; die Geschwindigkeit ihrer Bewegung ist dann gleich gross. Es ist leicht, an dem Apparate einen kleinen Mechanismus hinzuzufügen, der es gestattet, eine und dieselbe Lampe ganz nach Belieben für gleichgerichtete oder für wechselnde Ströme zu gebrauchen. Da kein Theil unter dem Einflusse der Schwerkraft in Thätigkeit tritt, so kann die Lampe eben so gut in liegender als in aufrechter Stellung arbeiten, ein Vorzug, den sie vor manchen ähnlichen Apparaten voraus hat.

103. Die elektrische Lampe von Serrin. Die *Serrin*'sche Lampe war ursprünglich für Batterieströme von gleichbleibender Richtung construirt; es erwies sich jedoch ihre Construction, ohne dass es von *Serrin* beabsichtigt worden war, bei einem gelegentlichen Versuche als eine solche, die auch für Wechselströme geeignet war. Die einzelnen Functionen, welche dieser ebenfalls höchst vollkommene Apparat ausführt, sind der Reihe nach folgende.

Im Zustande der Ruhe, wenn der elektrische Strom noch nicht durch ihn hindurchgeht, bringt er ohne Zuthun der Hand die beiden Kohlenstäbe mit einander in Berührung und steht dann still. Sobald der Strom zu der Lampe geführt oder der Stromkreis, in welchen dieselbe eingeschaltet

Digitized by Google

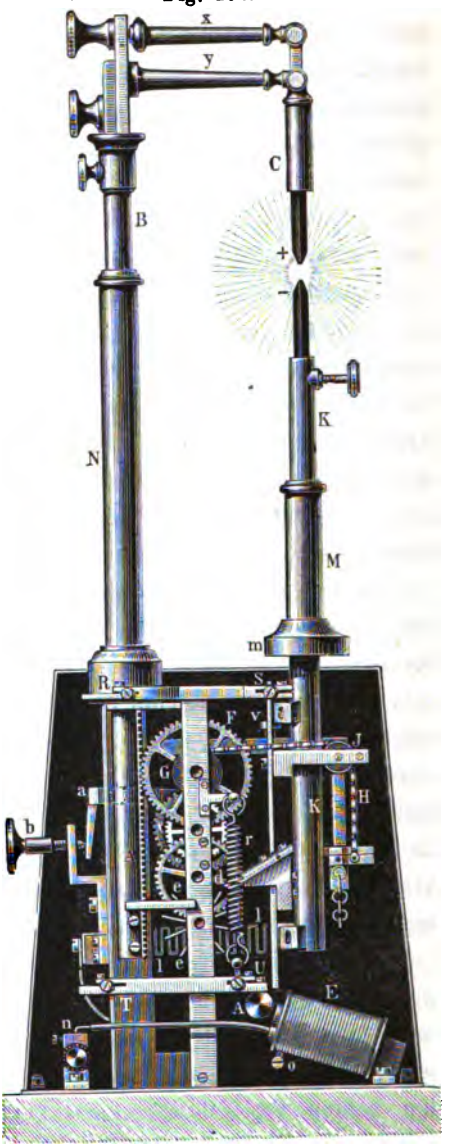
ist, geschlossen wird, entfernen sich die Kohlenstäbe sofort von einander, so dass der Volta'sche Bogen zwischen ihnen hervorbricht und das elektrische Licht erglänzt. In dem Maasse, als nun die Kohlen abbrennen und sich weiter von einander entfernen, werden sie durch den Mechanismus der Lampe wieder einander näher gebracht, so dass der Lichtbogen nicht bloss die gehörige Länge, die man nach Maassgabe der Stromstärke erzeugen kann, unverändert beibehält, sondern auch seinen Ort im Raume und seine Lage in Bezug auf die Apparattheile und etwaige Linsenachsen nicht verändert. Wenn das Licht durch den Wind oder aus irgend einer anderen Ursache zufällig erlöschen sollte, so bringt der Apparat die Kohlen sofort wieder mit einander in Berührung, aber nur um den Kreislauf des Stromes wieder zu schliessen; ist dieses geschehen, so trennen sich die Kohlen wieder und lassen den Lichtbogen von Neuem zum Vorschein kommen. Auf diese Weise unterhält die Lampe das elektrische Licht an jeder Stelle, in jeder beliebigen Entfernung von der erzeugenden Maschine und in jeder Höhe, wo man es haben will. Um dasselbe anzuzünden, braucht man nur die magnet- oder die dynamo-elektrische Maschine in Gang zu setzen oder die Batterie, in deren Schliessungsdraht die Lampe eingeschaltet ist, zu schliessen. Um es zu verlöschen, stellt man die Maschine ab oder unterbricht auf irgend eine Art den Strom; an die Lampe selbst braucht man zu diesem Zwecke keine Hand anzulegen.

Der Apparat leistet diese verschiedenen Arbeiten vermittelst zweier mit einander in Verbindung stehender Theile, von denen jedesmal der eine in Thätigkeit tritt, wenn der andere aufhört zu wirken. Der erste Theil besteht aus den beiden vertical stehenden messingenen Kohlenträgern *B C* und *K K* (Fig. 254), von denen der eine *B C*, welcher die obere Kohle enthält, mit dem positiven Pole der Maschine oder der Batterie, der andere *K K* durch

Digitized by Google

einige Apparattheile mit dem negativen Pole in Verbindung steht. Beide Kohlenträger sind auf eine noch näher zu beschreibende Weise so mit einander verbunden, dass die abwärts gehende Bewegung des positiven Trägers zugleich eine aufwärts gehende der negativen Kohle erzeugt und so stets eine Annäherung der beiden Kohlenspitzen zuwege gebracht wird.

Fig. 254.



Die elektrische Lampe von Serrin.

Der andere Theil des Mechanismus, die Balance oder die Schaukel, besteht aus einem nach Art eines Parallelogrammes gelenkartig zusammengefügten Systeme von vier Gliedern *R S U T*, von welchem die eine verticale Seite (links) fest steht und mit den links liegenden Enden des oberen und unteren Gliedes bei *R* und *T* gelenkartig verbunden ist, das vierte verticale Glied aber einerseits bei *S* in

Digitized by Google

die obere Schiene beweglich eingefügt, andererseits mit dem Rollenträger *J* fest verbunden ist. Das genannte Parallelogramm ist hiernach in zwei festen Puncten *R T* aufgehängt und kann in kleinen Grenzen auf und ab oscilliren; dasselbe wird durch zwei entsprechend starke Federn, von denen in der Figur nur die vordere sichtbar ist, derart schwebend gehalten, dass die obere und untere Seite nahezu wagerecht liegen.

Dieses auf und ab sich bewegende Gliedersystem, an dessen unterer Seite der ebenfalls wagerecht liegende Anker *A* des Elektromagnets *E* fest aufgehängt ist, hat den Zweck, die Kohlenspitzen zuerst von einander zu trennen, wenn der Strom bei ihrer Berührung in den Apparat eintritt, sodann aber dieselben rechtzeitig wieder einander näher zu bringen, bevor ihre Entfernung durch das Abbrennen so gross wird, dass der Lichtbogen zwischen ihren Spitzen erlöschen müsste.

Die wechselseitige Einwirkung dieser beiden Mechanismen auf einander geschieht durch ein Räderwerk, welches seine Bewegung durch das eigene Gewicht des positiven Kohlenträgers *B* erhält, dagegen seine zeitweilige Hemmung durch einen mit der Balance verbundenen, dreieckig gestalteten Sperrzahn *d* erfährt. Der Kohlenträger *B* bildet auf seinem untern Drittel eine Zahnstange, welche in das oberste Rad *F* des Räderwerks eingreift. Zieht man den Stab *B* aus der Messingröhre *N* in die Höhe, so folgt das im Eingriffe stehende Rad dieser Bewegung, die übrigen Räder aber nehmen an dieser Bewegung keinen Antheil, weil die Achse des zweiten Rades mit einer Sperrvorrichtung versehen ist, welche zwar gestattet, dass sich das erste Rad vor- und rückwärts dreht, dagegen eine Drehung der übrigen Räder nur in der einen Richtung zulässt, welche dem Herabsinken der Kohlenstange *B* entspricht.

Auf der Achse des ersten Rades sitzt eine Rolle *G*, welche sich mit dem Rade dreht und deren Durchmesser nahe halb

Digitized by Google

so gross ist als der des Rades; auf ihrem Umfange ist eine feine stählerne Cylinderkette *H* befestigt, die über eine kleine Leitrolle *J* läuft und an einem mit dem negativen Kohlenhalter *K* verbundenen, elfenbeinernen Querstück befestigt ist. Sinkt daher die +Kohle *C* um eine bestimmte Strecke herab, so setzt sich das erste Rad und die Kettenrolle *G* in Bewegung; aber das von der Kette *H* aufwärts gezogene Querstück und die —Kohle *K* gehen nur halb so hoch aufwärts, und da während der Thätigkeit der Lampe die positive Kohle doppelt so schnell abbrennt als die negative, so wird durch diesen ebenso einfachen als sicher wirkenden Mechanismus der Lichtbogen zwischen den Kohlenspitzen fast genau an derselben Stelle des Raumes erhalten. Man gibt anfänglich den Kohlenstäbchen eine solche Länge, dass die Stelle des Lichtbogens dem Ringe gegenüber liegt, welcher den obern Theil der Messingröhre *N* abschliesst.

Die abwärts gehende Bewegung der positiven Kohle wird dadurch regulirt und gleichförmig gemacht, dass das erste Rad seine Bewegung mit wachsender Geschwindigkeit auf einen in der Figur nicht sichtbaren Windflügel und auf ein aus 8—12 Speichen bestehendes Sternrad *e* überträgt, dessen Zweck wir sogleich näher kennen lernen werden. Zieht man umgekehrt den positiven Kohlenträger *B* in die Höhe, so sinkt die negative Kohle durch das Gewicht ihres Trägers *K* herab, wobei das Räderwerk stehen bleibt.

Von den beiden Federn *r*, welche das schaukelnde Parallelogramm in der Schwebe halten, ist die eine mit ihrem obern Ende an der die Radachsen tragenden Gestellplatte aufgehängt; mit ihrem untern Haken fasst sie die Seite *U* der Balance; die andere Feder liegt auf der entgegengesetzten Seite der Räder; mit dem einen Ende ist sie an dem beweglichen verticalen Stücke der Balance, mit dem andern an einem Winkelhebel *a* befestigt, auf welchen man vermittelst einer aus dem Gehäuse der Lampe hervortretenden

Digitized by Google

Schraube *b* einwirken kann. Durch Vor- oder Rückwärtsdrehen dieser Schraube kann man die Feder an- oder abspannen und dadurch die Entfernung des Ankers *A* von den Polen des Elektromagnets *E* nach der Stromstärke reguliren. Ebenso wird durch Anziehen dieser Schraube und entsprechendes Anspannen der Feder das Gliedersystem etwas gehoben und dadurch der dreieckige Sperrzahn *d* ausser Eingriff mit dem Sternrade *e* des Räderwerkes gebracht.

So oft dieses geschieht, setzt sich das Räderwerk in Bewegung; der obere Kohlenträger sinkt herab und hebt vermittelst der Gliederkette den untern Träger in die Höhe. Wenn umgekehrt während der Thätigkeit des Apparates der Elektromagnet *E* über die Spannkraft der Feder *r* das Uebergewicht bekommt, zieht er den Anker *A* an und damit die Balance ein wenig herab; der Sperrzahn fällt in die Speichen des Sternrades *e* ein und hemmt damit das Räderwerk.

Der vom positiven Pole des Stromerzeugers kommende Leitungsdraht wird durch eine besondere Klemme mit der Metallmasse der Lampe in Verbindung gesetzt; der Strom gelangt durch den obern Kohlenträger *B* über beide Kohlen, wenn diese sich berühren oder den Flammenbogen zwischen sich bilden, durch den untern isolirten Kohlenträger *K K* und durch eine isolirte gefältete und daher leicht bewegliche Feder *l l* zu dem Elektromagnet, von wo aus er an einer andern isolirten Klemme die Lampe verlässt, um zum negativen Pole des Stromerzeugers überzugehen.

Die erste Wirkung der Lampe beim Schliessen des Stromes ist, wie bereits gesagt, die Anziehung des Ankers *A*. In Folge hiervon wird die Balance herabgezogen, die Kohlenspitzen trennen sich von einander auf eine Entfernung, welche durch die äussere Schraube *b* im Verhältnisse zur Stromstärke angemessen regulirt wird, der Sperrzahn legt sich zwischen die Speichen des Sternrades und arretirt das Räderwerk. In der Hitze des Flammenbogens verbrennen die

Digitized by Google

Kohlen, und zwar nutzt sich die positive zweimal so stark ab als die untere negative, der Flammenbogen wird länger, aber zugleich die Stromstärke wegen des grössern Widerstandes kleiner, die anziehende Kraft des Elektromagnets wird schwächer und die Federn fangen an, die Anziehungskraft des letztern zu überwinden. Geschieht dieses, so heben sie für einen Augenblick und auf einen geringen Betrag die Balance mit der unteren Kohle in die Höhe und bringen damit den Sperrzahn ausser Eingriff; das Räderwerk und der obere Kohlenträger werden dadurch frei, letzterer sinkt mit seinem Kohlenstäbchen durch sein Gewicht herab und die beiden Kohlenspitzen nähern sich einander. Hat der Flammenbogen auf diese Weise seine normale Länge erreicht, so gewinnt in Folge der grösseren Stromstärke der Elektromagnet wieder das Uebergewicht über die Federn der Balance, der Anker wird wieder so weit herabgezogen, bis der Sperrzahn das Räderwerk arretirt und die Bewegung der Kohlenstäbe unterbrochen wird.

Wenn man mit Hülfe der äusseren Schraube die das Parallelogramm tragende Feder anspannt, so entfernt man dadurch den Anker etwas von seinem Elektromagnet; der Strom muss jetzt eine stärkere magnetische Wirkung äussern, wenn die stärkere Federspannung und der grössere Abstand des Ankers vom Elektromagnet überwunden werden soll. In diesem Falle wird der Magnet sofort aufhören, den Anker festzuhalten, wenn durch die Abnutzung der Kohlen die Entfernung ihrer Spitzen nur um ein Geringes grösser wird; der Anker geht dann in die Höhe, der Sperrzahn kommt ausser Eingriff mit dem Sternrade, das Räderwerk wird frei und die Kohlen nähern sich wieder. Wenn dagegen die äussere Regulirschraube die Feder nur wenig anspannt, so erhält der Magnet durch den Ankeranzug den Sperrkegel auch dann noch im Eingriffe, wenn der Flammenbogen sogar eine ziemliche Länge erreicht hat. Das Anziehen oder Nach-

Digitized by Google

lassen der Schraube hat daher eine grössere oder eine geringere Länge des Lichtbogens zur Folge und erweist sich als ein ebenso feines als sicheres Mittel, diese Länge nach der Stromstärke genau abzupassen.

Durch einen leichten Druck mit der Hand auf den untern Kohlenhalter *K* geht die Balance ein wenig nach unten und der Sperrzahn kommt zum Eingriffe; der Gang des Räderwerks und die Function der Lampe wird dadurch unterbrochen. Will man diesen Zustand der Ruhe zeitweilig erhalten, so schiebt man durch eine geringe Drehung der Hülse *M* einen darauf bei *m* befestigten Stift in den entsprechenden Einschnitt eines Elfenbein-Klötzchens, das in der Figur nicht sichtbar ist; das Räderwerk bleibt dadurch dauernd arretirt.

Die Kohlenstäbchen werden durch Klemmschrauben in den Kohlenhaltern *C* und *K* festgehalten. Letztere ist eine messingene Hülse, welche leicht federnd in die darunter befindliche und mit dem Parallelogramm in Verbindung stehende längere Messingröhre *M* eingesteckt werden kann und stets vertical steht. Die obere Kohle kann durch zwei Gelenke *x* und *y* vermittelst zweier Schrauben sowohl in der durch *B* und *C* gehenden verticalen Ebene nach vorne und hinten, als auch in der darauf senkrechten Ebene nach rechts und links verschoben und dadurch genau vertical über die untere Kohle eingestellt werden.

Der grosse Vorzug, den die *Serrin*'sche Lampe vor manchen andern Apparaten dieser Art besitzt, liegt in dem grossen Gewichte des obern Kohlenhalters, welcher kleinere, unvorhergesehene Widerstände, die sonst störend wirken könnten, leicht überwindet und dadurch dem Räderwerke einen sehr gleichmässigen Gang gibt, ohne jedoch einen Druck der Kohlen gegen einander zu erzeugen, der gross genug wäre, dieselben zu zerbröckeln. Wenn nämlich ein solcher Druck anfängt sich zu entwickeln, so folgt die untere

Digitized by Google

Kohle diesem Druck nach unten sofort und unterbricht die Bewegung.

In der Wirklichkeit zeigt sich die Thätigkeit der Lampe weniger in sichtbaren Entfernungen und Annäherungen der Kohlenstäbe, als mehr in einem beständigen Streben nach diesen Bewegungen; es ist eine Art von wechselseitigem Ringen nach dem Uebergewichte einerseits zwischen dem Gewichte des Kohlenhalters und dem Räderwerke und andererseits zwischen der Anziehungskraft des Elektromagnets auf den Anker und die Balance, welche das Räderwerk sperrt. Der Lichtbogen wird hierdurch während der Beleuchtung in höchst vollkommener Weise in einer solchen Länge dauernd erhalten, wie er dem Maximum der Stromstärke und damit dem grössten Lichteffecte entspricht.

Aber eben diese grosse Empfindlichkeit der Lampe, der Umstand nämlich, dass die kleinsten Wirkungen des Elektromagnets auf den Anker sofort auf den untern Kohlenträger übertragen werden, macht, dass dieser letztere beständig auf und ab zittert, wenn die Kohlenstäbe Unreinigkeiten enthalten. Diese oscillirenden Bewegungen aber verlängern oder verkürzen die Länge des Lichtbogens und wirken verändernd auf den Widerstand des Stromes ein; die weitere Folge hiervon ist dann ein Schwanken in dem Gange der stromerzeugenden Maschine, des Elektromagnets in der Lampe und eine Unbeständigkeit in dem Lichte des Flammenbogens, die oft lästig und unangenehm wirkt. Die Lampe *Serrin*'s erfordert daher vor Allem sehr gute Kohlen. Ihre Construction bedingt ausserdem die verticale Stellung der Kohlenhalter; in horizontaler Lage ist sie nicht zu gebrauchen, und selbst eine kleine Neigung wirkt oft störend auf ihren Gang ein. Nur mit chemisch reinen Kohlen und unter dem Einflusse eines ganz constanten Stromes sind Schwankungen in dem Anker des Elektromagnets nur wenig wahrzunehmen; in solchen Fällen ist das Licht

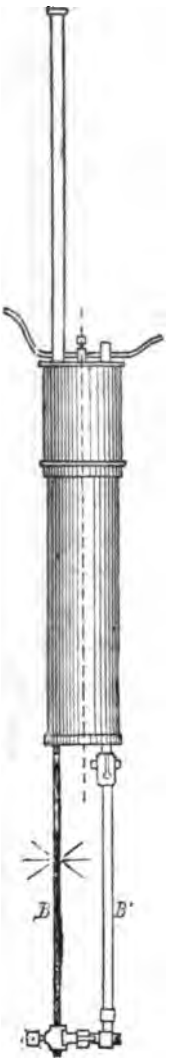
Digitized by Google

der Lampe fast eben so ruhig wie das einer Oel- oder Gasflamme.

Die *Serrin*'sche Lampe wurde in der letzten Zeit in England vielfach durch die

104. Crompton'sche Lampe verdrängt, welche als eine Vereinfachung der *Serrin*'schen Lampe betrachtet werden kann und durch die Figuren 255, 256 und 257 dargestellt wird. Der Mechanismus dieser Lampe wird von einem Glascylinder umgeben, welcher durch eine Boden- und Deckelplatte *b* geschlossen ist. Das Arbeiten der Lampe kann somit ohne Entfernung weiterer Umhüllungen überwacht werden. (Vergl. Fig. 256.) In den Deckplatten befinden sich Löcher, durch welche die Kohlenhalter gleiten können. Der untere Kohlenhalter ist so construirt, dass er den Strom von der negativen Kohle bei vollkommener Isolation vom Lampenkörper zu dem Elektromagnet *G* leitet. Ist dieser stromlos, so hebt die Spiralfeder *D* den Halter *B'* in die Höhe, bis der Bundring *b'* gegen die Platte *b* stösst (Fig. 257). Der Ring *b'* ist fest mit dem Halter *B'* verbunden, ebenso der Querstab *g* (Fig. 256), welcher als Armatur des Elektromagnets *G* dient. Auf der oberen Fläche dieser Armatur ist eine leichte Eisenplatte *h* bei *h'* zwischen zwei Stahlspitzen drehbar befestigt; das Gewicht der Platte *h* ist etwas kleiner als die Zugkraft der feinen Spiralfeder *l*, deren Regulirung durch die Schraube *l'* mit grösster Genauigkeit erfolgen muss. Die Platte *h* trägt einen

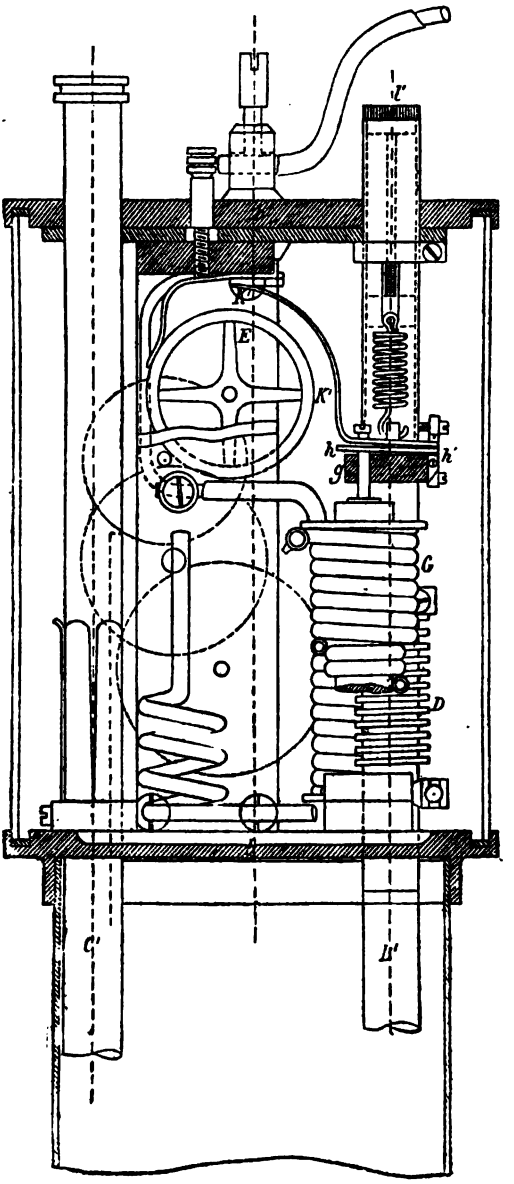
Fig. 255.



Crompton's elektrische Lampe.

Digitized by Google

Fig. 256.



Der Mechanismus der Crompton'schen Lampe.

Digitized by Google

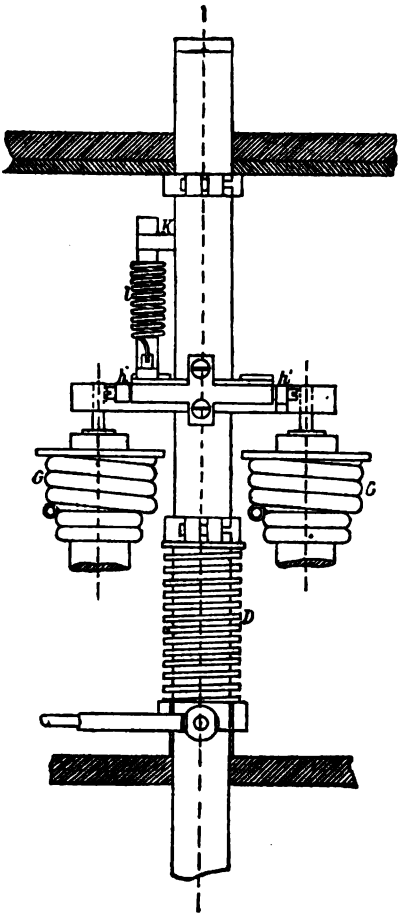
krummen Arm KK', welcher je nach der Stellung der Platte h leicht auf dem Bremsrade E aufliegt oder nicht. Dieses (E) ist mit einem Räderwerk verbunden, dessen letztes Rad durch eine Verzahnung mit der Messingstange C', dem oberen Kohlenhalter, in Verbindung steht; das Gewicht des letzteren reicht zur Bewegung der Kohle und des ganzen Räderwerkes aus.

Geht kein Strom durch die Lampe, so berühren sich die Kohlen. Durchfliesst aber ein genügend starker Strom die Lampe, so zieht der Elektromagnet die Armatur g unter Ueberwindung der Spiralfeder D an sich an, so dass beide einander berühren, während die Kohlenhalter B' und C' von einander geschoben werden. Die Armatur g zieht nämlich den mit ihr verbundenen Kohlenhalter B' nach unten, sowie sie selbst vom Elektromagnet angezogen wird; dieser zieht aber auch die Platte h fest gegen die Armatur, so dass der Arm KK' das Bremsrad fasst und hemmt, wodurch jede Bewegung des Räderwerkes bezw. des obern Kohlenhalters gehindert wird. Somit wird sich der Lichtbogen entfalten und eine Abnutzung der Kohlen eintreten. Dadurch wächst der Widerstand in der Leitung und es nimmt die Stromstärke etwas ab. Bei einer geringen Schwächung der Stromstärke bleibt der Contact zwischen Armatur und Elektromagnet bestehen, der überhaupt so lange andauert, als der Strom ein bestimmtes Minimum der Stärke hat; indessen reicht die geringste Schwächung der Stromstärke bezw. des Magnetismus des Elektromagnets hin, dass die Platte h, deren Grösse und Gewicht bis aufs Aeusserste herabgedrückt sind, der Zugkraft der Spiralfeder l (Fig. 257) folgt und sich von der Armatur g abhebt; dann hebt sich auch der Arm KK' vom Bremsrade ab, und es wird der obere Kohlenhalter so weit sinken, bis normaler Bogenwiderstand und normale Stromstärke wieder hergestellt sind und dann die Bremse abermals gehemmt wird. Kurz, ist eine gut ge-

Digitized by Google

arbeitete *Crompton*'sche Lampe fein regulirt, so ist die Platte *h* fortwährend in Bewegung, so dass das Bremsrad sich nur ganz langsam dreht, wodurch ein sehr regelmässiger Nachschub der Kohlen erfolgt.

Fig. 257.



Der Mechanismus der Crompton'schen Lampe.

Hiermit fällt bei der *Crompton*'schen Lampe ein Fehler weg, der sogar den Lampen von *Serrin* (§. 103) und *Siemens* (§. 106) anklebt. Bei diesen erfolgt nämlich der Nachschub erst bei zu grosser Verminderung der Stromstärke und hört dann erst auf, wenn die Stromstärke in Folge zu grosser Annäherung der Kohlen zu stark geworden ist. „In den Lampen von *Serrin* und *Siemens* müssen erst schwer gleitende Stücke oder bewegliche Parallelogramme in Bewegung gesetzt werden, und wenn man bedenkt, wie beträchtlich das Reibungs- und Trägheitsmoment jener schweren Theile ist und wie sehr ihre freie Bewegung durch verdicktes oder geronnenes Oel, Schmutz, Staub u. s. w. afficirt wird, so ist leicht einzusehen, dass der Nachschub an solchen Lampen nicht regelmässig sein kann. Er wird

Digitized by Google

stets mehr oder weniger intermittirend sein, je nachdem die Lampen rein sind oder nicht.“ (*Cr.* l. c. p. 25.) Bei der *Crompton*'schen Lampe ist aber der einzig bewegliche Theil, die Platte *h*, so leicht und fein gearbeitet, dass die wechselnde Stärke des Elektromagnets nur eine äusserst geringe Arbeitsleistung zu verrichten hat; ein Oelen ist niemals erforderlich, da die Platte zwischen feinen Stahlspitzen läuft.[1])

Ein Gegenstück zu der *Crompton*'schen Lampe ist die Lampe von *Bürgin;* der Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass bei jener das Räderwerk fest und die hemmende Feder beweglich, bei dieser aber die letztere fest und das Rad beweglich ist. Der Mechanismus der

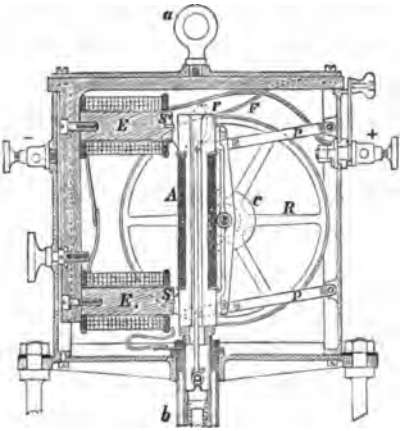
105. Lampe von E. Bürgin in Basel ist in der Fig. 258 in verticalem Durchschnitte abgebildet. Man sieht, wie an der Seite des den Mechanismus umschliessenden Gehäuses zwei Elektromagnete *E* und *E'* befestigt sind, deren Polen der durch das Parallelogramm *P P* getragene Anker *A* gegenüber liegt. An diesem ist, wie die Fig. 258 deutlich zeigt, das mit einer Spule *c* versehene Rad *R* befestigt. Eine auf der Spule *c* befestigte und aufgewickelte Kette ist über die Rolle *r* geleitet und alsdann mit dem obern Theil des positiven Kohlenhalters verbunden. Letzterer wirkt also durch sein Gewicht und durch die Vermittelung der Kette auf das Rad ein: dieses kann sich jedoch nur dann bewegen, wenn sich dasselbe in einer Lage befindet, wo die Feder *F* auf demselben nicht aufliegt und bremsend

1) Zu Lampen, die länger als fünf Stunden brennen sollen, benutzt *Crompton* als Führung für den entsprechend langen Kohlenstab eine weitere Röhre, an deren unterem Ende sich der den Strom der Kohle zuführende Platincontact befindet. So liegt zwischen dem Contacte und dem Lichtbogen stets ein gleich langes Kohlenstück, das also auch dem Strome immer denselben Widerstand bietet.

Digitized by Google

einwirkt, d. h. eine Bewegung des Rades kann nur stattfinden, wenn der Anker *A* seine tiefste Lage annimmt.

Fig. 258.



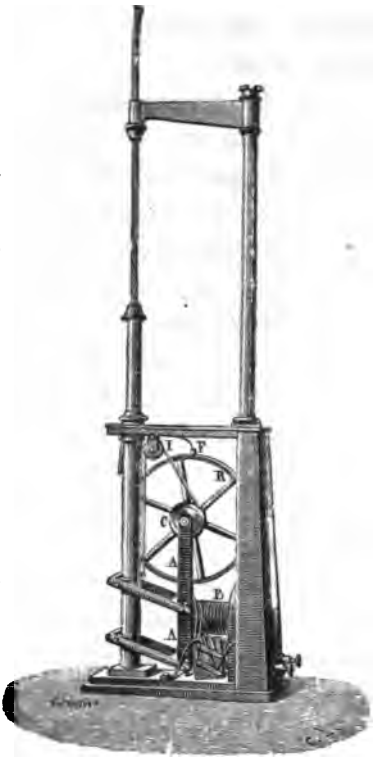
Bürgin's elektrische Lampe.

Die Lage des Ankers hängt aber von der Stromstärke ab. Der elektrische Strom, welcher bei der +-Klemme (rechts) in die Lampe eintritt, spaltet sich in zwei Zweige, von denen der eine zu den Umwindungsdrähten der Elektromagnete *E* und *E'*, den beiden Kohlen und dann zur negativen Klemme (links), der andere aber zu dem Umwindungsdrahte des Ankers *A*, den beiden Kohlen und der negativen Klemme sich abzweigt. Die Drahtleitung ist so geführt, dass die Pole der Armatur *A* zu den gegenüberliegenden der Elektromagnete *E* und *E'* ungleichnamig sind. Sonach findet zwischen den einzelnen Polen Anziehung statt, welche, wenn die Stromstärke bezw. die Weite des Lichtbogens eine normale ist, stark genug ist, den Anker *A* und mit diesem das Rad *R* zu heben. Dann aber bremst die Feder *F* das Rad, und jede abwärts gehende Bewegung des Kohlenhalters ist unmöglich. Nimmt jedoch mit zunehmender Weite des Lichtbogens die Stromstärke in den Drähten der drei Elektromagnete (*E* *E'* und *A*) ab und werden die Pole

Digitized by Google

derselben dadurch schwächer, so reicht die gegenseitige Anziehung nicht hin, den Anker *A* zu halten. Derselbe sinkt, mit ihm das Rad, welches von der Feder *F* getrennt der Einwirkung des Gewichtes des Kohlenhalters nachgibt und sich bewegt. Es sinkt also der obere Kohlenhalter; da sich in Folge dessen die Kohlen wieder nähern, so nimmt dadurch die Stromstärke in den Drähten der Elektromagnete *E*, *E'* und *A* zu; die Pole derselben werden stärker, die gegenseitige Anziehung wächst und erreicht eine solche Grösse, bei der der Anker *A* wieder emporgehoben und das Rad gebremst wird. In der angeführten Weise fährt die Lampe zu functioniren fort.

Fig. 259.



Lampe von Bürgin für constanten Focus.

Die beschriebene Lampe liefert einen veränderlichen Focus; *Bürgin* baut jedoch auch unter Beibehaltung des im Vorstehenden erklärten Princips Lampen mit constantem Focus, welche zu wissenschaftlichen Zwecken vorzüglich geeignet sein sollen. Wir geben eine Abbildung derselben in Fig. 259. Bei diesen Lampen sind auf der Achse des Rades *R* zwei Spulen von verschiedenem Durchmesser angebracht, deren Ketten mit dem obern bezw. mit dem untern Kohlenhalter in Verbindung stehen und so geführt sind, dass die beiden Kohlen stets in derselben Höhe stehen.

Digitized by Google

Bemerken wir noch, dass *Crompton* und *Bürgin* auch Lampen construiren, in welchen zwei Kohlenpaare angebracht werden.

106. Die Siemens-Halske'sche Lampe (System *v. Hefner-Alteneck*) hat wie die Lampe von *Serrin* ihre bewegenden Kräfte in dem Gewichte des obern Kohlenhalters und der Anziehungskraft eines kleinen Elektromagnets, deren Thätigkeit in angemessener Weise abwechselnd auf ein System von Rädern einwirkt. Während die beiden Kohlenspitzen unter dem Einflusse des Uebergewichtes des obern Kohlenhalters sich einander nähern, werden sie durch die Wirkung des in den Stromkreis eingeschalteten Elektromagnets auf einen Anker wieder von einander entfernt. Die Haupttheile dieser Lampe sind in Fig. 260 in ihrer natürlichen Lage, dagegen in Fig. 261 (S. 489) des leichteren Verständnisses wegen in einer von der Wirklichkeit etwas abweichenden Lage dargestellt. Die von der Stromquelle kommenden Leitungsdrähte werden in zwei nach aussen aus der Lampe hervortretenden isolirten Klemmen *K Z* befestigt; die eine *K* (Kohlenpol, +) dieser letzteren steht mit den metallischen Theilen der Lampe und daher mit dem obern Kohlenträger in leitender Verbindung, während die andere *Z* (Zinkpol, —) zu dem von dem Gestelle isolirten untern oder negativen Kohlenhalter führt. In diese Leitung zwischen *K* und *Z* ist unten im Fussgestelle der Elektromagnet *E* eingeschaltet, und zwar so, dass das eine Ende des Umwindungsdrahtes mit einer der Klemmen (in Fig. 260 mit +), das andere Ende dagegen mit dem Metalle des Fussgestelles verbunden ist.

Die Klemme *K* führt zu einer seitlichen Abzweigung, die in der Ruhelage des nicht angezogenen Ankers *A* offen ist, aber durch einen federnden Contact bei *c* geschlossen wird, wenn der Elektromagnet den Anker anzieht.

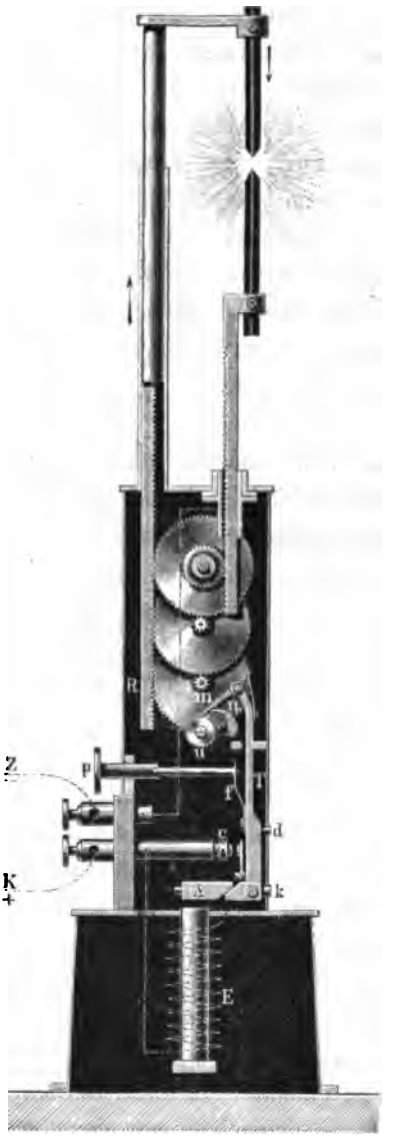
Der Anker *A* ist in der schematischen Zeichnung der

Digitized by Google

Fig. 261 einfach als hebelförmig verlängert dargestellt, während er in der Wirklichkeit von dem Stosshebel T getrennt ist und nur mit seiner seitlichen, etwas abgeschrägten Fläche auf der entsprechend abgeschrägten Fläche des untern kürzern Hebelarms des bei k drehbaren Winkelhebels T aufliegt.

Eine Stahlfeder f, deren Spannung durch die nach aussen frei hervortretende Schraube p regulirt werden kann, sucht beständig mittelst des Hebels T den Anker von den Polen des Elektromagnets abzudrücken und gegen den unterhalb T gezeichneten Ruhe-Anschlag d anzulegen. Wird jedoch der Anker angezogen, so dreht sich der Hebel, der Contact zwischen ihm und der Klemme K wird bei c geschlossen und dem elektrischen Strome durch die Nebenschliessung über den mit den metallischen Theilen der Lampe in Verbindung stehenden Hebel

Fig. 260.



Elektrische Lampe von Siemens-Halske.

Digitized by Google

der kürzere Weg K (+), c, T, Lampengestell, obere Kohle, untere Kohle Z (—) mit Umgehung der Elektromagnet-Windungen dargeboten. Mit Hülfe eines Schraubenziehers lässt sich ein Schraubenkopf k verstellen und damit der Anker A höher oder tiefer stellen (grobe Regulirung); man macht hiervon nur dann Gebrauch, wenn die feine Regulirung mit der Schraube p zum tadellosen Arbeiten der Lampe nicht ausreicht. Aber eben in Folge hiervon verlässt der Anker unter dem Einflusse der Abreissfeder f wieder die Pole des Elektromagnets; der Contact c wird wieder geöffnet, der Anker wieder angezogen u. s. w.

Sobald also der elektrische Strom oder der durch ihn im Elektromagnet hervorgerufene Magnetismus bei der Berührung oder, wenn die Lampe in Betrieb ist, bei hinreichender Näherung der Kohlenspitzen kräftig genug geworden ist, um die Spannung der Spiralfeder f zu überwinden, wird der Anker A in oscillirende Bewegungen versetzt, welche so lange anhalten, bis die Stromstärke resp. die Stärke des Magnetismus wieder unter diese Grenze gesunken ist.

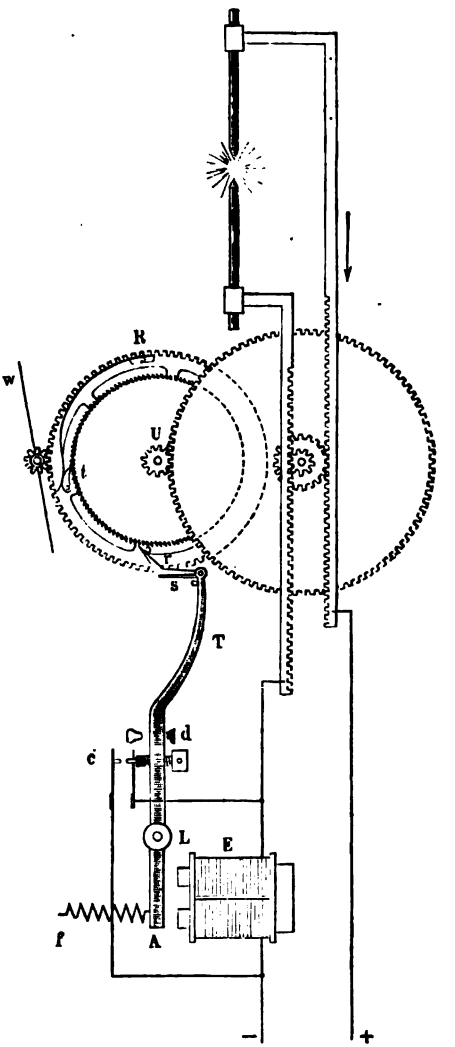
Diese hin- und hergehenden Bewegungen macht ein kleiner, auf der Verlängerung T des Ankers sitzender federnder Stösser m (s in Fig. 261) mit, welcher dabei stossweise auf ein Rädchen u mit schräg stehenden Zähnen einwirkt und dieses schrittweise in einer und derselben Richtung umdreht. Mit diesem Rädchen aber stehen die übrigen Räder und die Zahnstangen der Kohlenhalter derart im Eingriffe, dass durch die genannte, unter der Einwirkung des Stössers m erfolgende Drehung von U die beiden Kohlenhalter langsam von einander entfernt werden. Je weiter sich aber dabei die Kohlenspitzen von einander entfernen, desto grösser wird der Widerstand des Flammenbogens und desto schwächer wird der elektrische Strom, so dass die oscillirende Bewegung

Digitized by Google

des Ankers und des Hebels $T\,m$ bald wieder aufhört und der Hebel an seinem Ruhe-Anschlage d liegen bleibt.

In dieser Stellung wird der Stösser durch ein am Lampengestelle befestigtes Stück n, an dem er mit einer schrägen Fläche aufläuft, gänzlich aus den Zähnen des Sperr-Rades u gehoben, das Uebergewicht des obern Kohlenhalters kommt dann wieder zur Wirkung und bringt, indem es das Rädchen u wieder rückwärts dreht, die Kohlenspitzen wieder einander näher, und zwar nähern sich diese letzteren so weit, bis in Folge der damit verbundenen Zunahme der Stromstärke die oscillirende Bewegung des Ankers und des Stosshebels wieder beginnt. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Kohlenspitzen in Folge des Sinkens des obern Kohlenhalters sich einander nähern, wird durch einen Windfang w auf die

Fig. 261.



Siemens-Halske's elektrische Lampe.

Digitized by Google

gewöhnliche Weise verzögert resp. regulirt, und damit der Anker durch seine Bewegung nicht auch diesen im entgegengesetzten Sinne zu drehen braucht, ist dessen Treibrad *R* (Fig. 261) auf die Achse des Rädchens *u* nur lose aufgesetzt und durch eine kleine Sperrklinke *t* nur für die letztgenannte Drehung in der Richtung, wie sie das Herabsinken des obern Kohlenhalters hervorbringt, an das Sperr-Rad gekuppelt.

Bei normalem Arbeiten der Lampe sind die alternirenden Bewegungen der Kohlenspitzen an diesen selbst kaum wahrnehmbar; erlischt jedoch der Lichtbogen durch eine äussere Veranlassung, so laufen die Kohlenspitzen sofort zusammen und werden nach eingetretener Berührung durch die anziehende Wirkung des Elektromagnets auf den Anker und durch dessen Wirkung auf den Hebel *T* und seinen Stösser wieder von einander entfernt, wobei der Lichtbogen sich von Neuem bildet und in der ursprünglichen, durch die Spannung der Abreissfeder *f* bestimmten Länge wieder hergestellt wird.

Bei derjenigen Einrichtung der Lampe, wie sie durch die Fig. 261 dargestellt ist, ist das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welchen sich die beiden Kohlenspitzen bewegen, wie 2 : 1, d. h. die mit dem positiven Pole verbundene (obere) Kohle hat die doppelte Geschwindigkeit der negativen. Lampen dieser Art kommen daher nur bei gleichgerichteten elektrischen Strömen zur Anwendung, weil bei diesen die positive Kohle nahezu doppelt so rasch abbrennt als die negative. Bei Anwendung von sogenannten Wechselströmen, wie sie von den magnet-elektrischen Maschinen ohne Commutator oder auch unter Umständen von den dynamo-elektrischen Maschinen geliefert werden, arbeitet die Lampe und speciell der Elektromagnet derselben in gleicher Weise, nur mit dem Unterschiede, dass die Oscillationen des Ankers schon an und für sich in Folge des steten Pol-

Digitized by Google

wechsels im Elektromagnet, also auch ohne Beihülfe des Ausschlusscontacts *c*, auftreten würden. Da jedoch bei den Wechselströmen beide Kohlenspitzen gleich stark abbrennen, so muss das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welchen sich die beiden Kohlenhalter bewegen, ein anderes sein, als bei gleichgerichteten Strömen, wenigstens dann, wenn bei letzteren der elektrische Lichtbogen seine Lage im Raume für längere Dauer beibehalten soll. Soll daher die Lampe für beide Arten von Strömen gleich verwendbar gemacht werden, so wird die Einrichtung getroffen, dass durch Drehen eines nach aussen liegenden Knopfes die beiden an den Kohlenhaltern befestigten Zahnstangen ihre Eingriffe in einen und denselben Trieb oder in zwei verschiedene, auf gleicher Achse sitzende Triebe, deren Durchmesser sich verhalten wie 1 : 2, gebracht werden.

Die *Hefner-Alteneck*'sche Lampe zeichnet sich, abgesehen von ihrer Anwendbarkeit für jede Art von elektrischen Strömen, vor vielen Einrichtungen ähnlicher Art aus durch grosse Einfachheit und Uebersichtlichkeit der Construction und durch hohe Präcision der Regulirung. Die letztere ist hauptsächlich dadurch erzielt, dass nicht zwei Ruhelagen des Ankers (die eine in angezogener, die andere in abgefallener Stellung) und dem entsprechend mehr oder weniger verschiedene Stromstärken resp. Lichtbogenlängen auftreten können, sondern dadurch, dass die Stromstärke und die Lichtbogenlänge bestimmt ist durch das eine Moment des Anzuges des Ankers, welchem der Wiederabfall stets unmittelbar selbstthätig folgt. Während der Thätigkeit der Lampe ist ein Aufziehen nicht nöthig, und das Werk enthält daher auch keine Feder; der dafür eingeführte Contact braucht nicht gereinigt zu werden, da an ihm keine oder doch nur sehr schwache Funken auftreten. Bei stundenlangem Brennen bleibt das Licht, wenn gute Kohlen (z. B. Retortenkohle) angewandt werden, constant und ruhig; ein Zittern oder

Digitized by Google

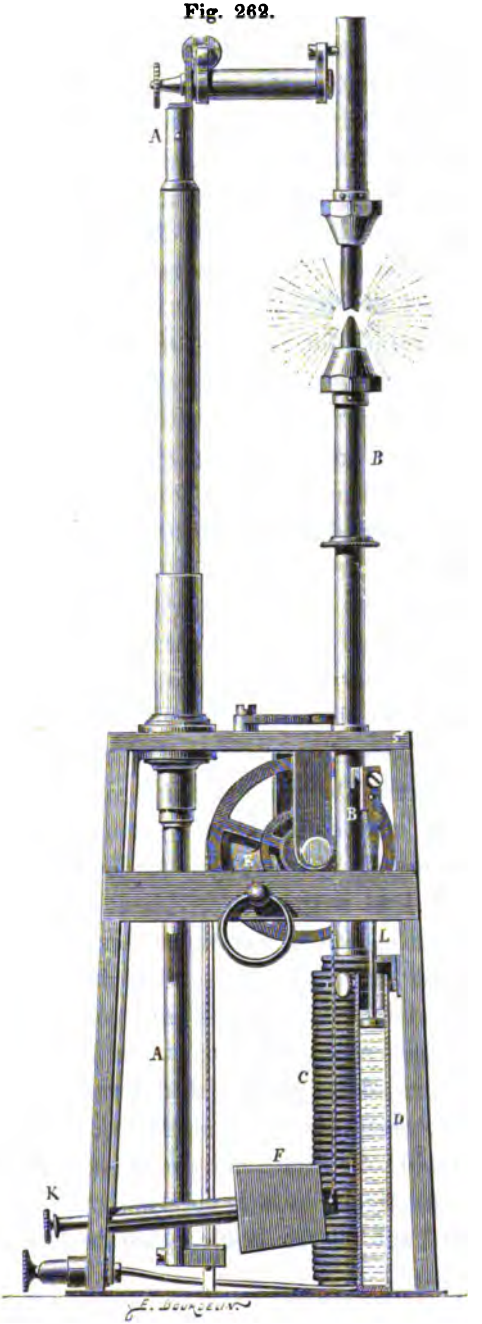
Wogen desselben, wie es namentlich bei anderen Lampen zuweilen auftritt, ist kaum wahrzunehmen und der Mittelpunct des Lichtbogens bleibt unverändert an derselben Stelle, was bei Anwendung eines Hohlspiegels als Reflector oder bei der Projection von Bildern durch Linsen durchaus erforderlich ist. Der *Siemens-Halske*'schen Lampe gebührt daher wegen der Einfachheit der Construction und der Sicherheit und Präcision ihres Arbeitens vor vielen anderen Lampen der Vorzug.

Zu den Hauptbestandtheilen der bisher beschriebenen Lampen gehört ein Elektromagnet. Die Constanterhaltung des Widerstandes nur einer elektrischen Lampe verlangt daher unter Voraussetzung eines Stromes von constanter Intensität noch immer, dass die auf den Anker der elektromagnetischen Regulirvorrichtung ausgeübte magnetische Kraft von der Ankerstellung, d. h. der Entfernung des Ankers von dem Magnet, unabhängig und vielmehr nur eine Function der Stromstärke sei. Dieses ist aber bei einem Elektromagnet keineswegs der Fall. Es ändern sich dort die anziehenden Kräfte umgekehrt proportional den Quadraten jener Entfernungen. Im allgemeinen muss daher bei der Construction der elektrischen Lampen die Beseitigung des Elektromagnets und Ankers einerseits, die Einführung des Solenoids und zugehörigen Kernes andererseits als Fortschritt betrachtet werden, da die bei den verschiedenen Stellungen des Kernes eintretenden Aenderungen in der Anziehung des Solenoids leicht ausgeglichen werden können. Genannten Fortschritt finden wir bei den Lampen von *Jaspar*, *Dornfeld* u. A.

107. Die Lampe von J. Jaspar (Maschinenbauer in Lüttich), die sich bei ungewöhnlicher Empfindlichkeit im Reguliren und Sicherheit im Betriebe durch eine nicht minder grosse Einfachheit der Construction empfiehlt, ist in Fig. 262 abgebildet, und zwar für den Moment, wo die Kohlenstäbe fast ganz abgebrannt sind.

Digitized by Google

Fig. 262.



Elektrische Lampe von Jaspar.

Digitized by Google

Der obere positive Kohlenhalter ist an einer Stange *A A* befestigt, welche mit dem +Pole der Lichtmaschine in leitender Verbindung steht, sonst aber von allen Theilen der Lampe vollkommen isolirt ist. An ihrem untern Ende trägt diese Stange einen Führungsarm, der eine verticale Schiene umfasst und bei seiner Bewegung längs derselben jede Drehung der Stange *A A* und des obern Kohlenhalters verhindert. Wie bei der Lampe von *Serrin* (Fig. 254) lässt sich durch zwei Stellschrauben am obern Theile des auf *A* sitzenden Querarms die obere Kohle genau in die verticale Linie der unteren Kohle einstellen.

Der untere negative Kohlenhalter steckt oben in einer schmiedeeisernen Stange *B*, welche mit dem metallenen Gestelle und mit dem negativen Pole der Lichtmaschine in Verbindung steht und mit ihrem untern Ende auf eine gewisse Strecke in die von dem elektrischen Strome durchflossene Drahtspirale *C* (Solenoid) hinabreicht. Der Strom fliesst daher in der Lampe von der +Polklemme durch die Stange *A A* zu der oberen Kohle, von hier zur unteren Kohle, sodann durch die Stange *B* durch das Solenoid *C* nach der —Polklemme weiter in die Leitung.

In dem obern Theile der Lampe sitzen zwei Scheiben, von denen die eine bloss halb so gross ist als die andere, auf einer gemeinschaftlichen Welle. Der untere Querarm der Stange *A A* ist mittelst einer Schnur oder eines Gliederkettchens, welche sich in die Rinne der grösseren Scheibe legt, mit dieser fest verbunden, wodurch die Bewegung der oberen Kohle auf beide Scheiben und somit auf die untere Kohle übertragen wird. Ebenso ist der Eisenkern *B* durch eine Schnur mit der kleinen Scheibe verbunden, wodurch erreicht wird, dass die untere Kohle sich hebt, wenn die obere sich senkt; die Bewegung der unteren Kohle ist dabei nur halb so gross als die der oberen.

Der ganze zur oberen Kohle gehörige bewegliche Theil

Digitized by Google

ist schwerer als der zur unteren Kohle gehörige, und da der obere Theil an dem Umfange der grösseren Scheibe wirkt, so wird derselbe sich senken und die untere Kohle heben, d. h. die Kohlenspitzen haben beständig das Bestreben, sich einander zu nähern. In dem Momente, wo beim ersten Zusammenlaufen die Kohlenspitzen sich berühren, wird die Leitung geschlossen und der Strom circulirt durch die Lampe und deren Solenoid *C*. Der Eisenkern *B* wird von der Drahtspirale *C* gegen ihre Mitte hin herabgezogen, der untere Kohlenhalter *B* folgt dieser Bewegung, und durch die Verbindung der Schnüre und der Schnurscheiben steigt die obere Kohle entsprechend in die Höhe; die Kohlenspitzen entfernen sich von einander und es entsteht der Lichtbogen.

Aber eben hierdurch wächst der Widerstand in der Leitung und der Strom wird schwächer; die Anziehung der Drahtspirale *C* nimmt ebenfalls ab und es stellt sich Gleichgewicht her zwischen dem Uebergewichte des obern Kohlenhalters und der Anziehung des Solenoids. Wird dann durch Verbrennung der Kohlen der Lichtbogen noch grösser und der Strom noch schwächer, so gewinnt der obere Kohlenhalter das Uebergewicht über die Anziehung der Drahtspirale, ersterer sinkt etwas herab und die Kohlenspitzen werden wieder einander näher gebracht. Dieser Annäherung aber entspricht natürlich wieder eine Zunahme der Stromstärke und damit eine neue Anziehung des Solenoids, wodurch eine weitere Annäherung der Kohlenspitze verhindert wird.

Um das Uebergewicht des obern Kohlenhalters, d. i. diejenige Kraft, welche der Spiralenanziehung entgegen die Kohlenspitzen zu nähern sucht, modificiren und damit dieselbe Lampe für Ströme von verschiedener Intensität verwenden zu können, ist neben den Schnurscheiben auf derselben Achse noch eine dritte kleine Schnurscheibe be-

Digitized by Google

festigt, um welche eine Schnur gelegt ist, die mit ihrem untern freien Ende an einem einarmigen, mit einem Gewichte *F* belasteten Hebel befestigt ist. Dieses Gewicht lässt sich durch Drehen des ausserhalb der Lampe befindlichen Knopfes auf den Hebel *K* hin und her schieben, wobei die Schnur so um die Scheibe gelegt ist, dass das Laufgewicht *F* dem Gewichte des obern Kohlenhalters entgegenwirkt. Beim Einschieben des Knopfes wird der Lichtbogen grösser, beim Ausziehen kleiner.

Zwischen den Speichen der grossen Schnurscheibe ist ein zweites Gegengewicht *E* angebracht, welches den Zweck hat, die bei der höheren oder tieferen Stellung des Eisenkerns *B* eintretenden Aenderungen in der Anziehung des Solenoids auszugleichen.

Diese Anziehung nämlich ist bei gleicher Stromstärke um so geringer, je weiter der letztere sich herausgehoben hat, d. h. je mehr die Kohlen abgebrannt sind. Soll nun die Grösse des Lichtbogens stets dieselbe bleiben, so muss in demselben Verhältnisse, wie die Kohlen abbrennen und die Kraft des Solenoids abnimmt, auch das Uebergewicht des obern Kohlenhalters verringert werden. Theilweise geschieht dieses schon durch das Abbrennen selbst, da von der obern positiven Kohle, deren Gewicht überdies an einem grossen Hebelarme wirkt, doppelt so viel wegbrennt wie von der unteren. Aber diese Ausgleichung genügt nicht und der Rest wird von dem Uebergewichte *E* besorgt. Bei Beginn der Bewegung befindet sich nämlich dasselbe zur rechten Hand, vermindert hierdurch das Gewicht von *A* und erhöht die Wirkung des Solenoids. In dem Maasse wie das Contregewicht *E* in die Höhe geht und die verticale Schwerlinie seines Schwerpunctes sich der Achse der Schnurscheiben nähert, nimmt sein Hebelarm ab und wird Null, wenn dieser Schwerpunct lothrecht über dieser Achse liegt. Bei weiterm Abbrennen der Kohlen rückt das

Digitized by Google

Gegengewicht auf die andere Seite nach links, verstärkt nunmehr die Wirkung des obern Kohlenhalters und erreicht seine maximale Wirkung, wenn die Kohlen beinahe ganz abgebrannt sind, wie dieses aus der Figur 262 leicht zu ersehen ist. In dieser Lage übt das Gegengewicht E offenbar seine grösste verstärkende Wirkung auf das Gewicht von AA aus, und das ist die Lage, wo auch das Solenoid seine grösste Anziehung auf die Eisenstange B ausübt.

Neben dem Solenoid C steht in leitender Verbindung mit den übrigen Theilen der Lampe eine mit Quecksilber gefüllte Röhre D, in welcher sich mit nur wenig Spielraum ein eiserner Kolben bewegt, dessen Stange L mit der Stange B fest verbunden ist. Diese Röhre hat den Zweck, jede zu rasche, stossweise wirkende Bewegung der Kohlenhalter, namentlich ein zu rasches Niedersinken der oberen Stange, zu verhüten; ausserdem aber stellt es noch einen vollständigen Contact der Leitung mit der unteren Kohle her.

Der *Jaspar*'sche Regulator wirkt ganz ausgezeichnet und hat dem Erfinder auf der Pariser Weltausstellung von 1878 die goldene Medaille eingetragen. Sehr gerühmt wird auch

108. Die Lampe von C. Dornfeld in Köln (*Krupp*'s Patent), welche die wesentlichsten Organe mit der vorhin beschriebenen Lampe von *Jaspar* gemein hat, sich aber von dieser durch die Art und Weise unterscheidet, wie das Solenoid die Kohlen von einander trennt und den Lichtbogen auf der erforderlichen Länge erhält.

Die beiden Kohlenhalter a und b (Fig. 263) hängen auch hier mittelst Schnüre oder Gliederkettchen je an einer Scheibe mit gemeinschaftlicher Achse, und zwar ist die Scheibe T (Fig. 264), an welcher der obere positive Halter hängt, wieder doppelt so gross als die Scheibe D des negativen Halters b; die Schnüre sind ferner so gelegt, dass, wenn a durch sein Gewicht herabsinkt, er den Halter b in die Höhe zieht, wobei b nur halb so hoch steigt als a fällt,

Digitized by Google

Fig. 263.

Elektrische Lampe von C. Dornfeld.

der Lichtbogen also immer auf derselben Stelle im Raume bleibt.

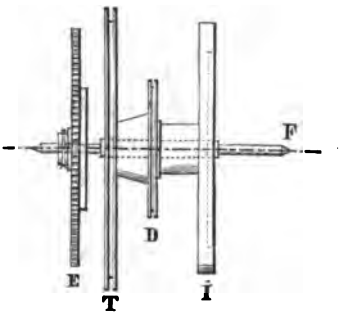
Da das Gewicht der Stange *a*, falls ihre Bewegung nicht leicht von Staub u. s. w. gehemmt werden soll, nicht zu klein sein darf, so sind Vorkehrungen zu treffen, um den Lauf derselben zu verlangsamen und zu reguliren, zu welchem Zwecke *Jaspar* bei seiner Lampe die Quecksilberröhre anwandte. In der *Dornfeld*'schen Lampe ist der Quecksilberwiderstand zweckmässig durch den Luftwiderstand ersetzt, und zu diesem Zwecke sitzt auf derselben Achse *F* der Schnurscheiben *T* und *D* noch ein Zahnrad *E*, welches durch ein Beisatzrad in einen Windflügel eingreift. (Fig. 264) Dieses Rad *E* ist mit einem Sperrrad versehen, damit das Auseinanderziehen der Kohlenhalter beim Einsetzen neuer Kohlen leicht von Statten geht.

Die selbstthätige Einstellung und Regulirung des richtigen Abstandes der Kohlenspitzen, der Länge des Lichtbogens, geschieht auf folgende Weise. Auf der den Scheiben *T*, *D* und *E* gemeinschaftlichen Achse

Digitized by Google

F sitzt eine Scheibe *I*, auf deren Umfang eine eigenthümlich construirte Bremse *K* einwirkt. (Fig. 265.) Dieselbe besteht aus zwei Theilen, die durch ein Gelenk bei *L* verbunden sind. In dem untern Theile, der sich auf der gemeinschaftlichen Achse *F* frei dreht, ist ein Loch *G* gebohrt, in welches

Fig. 264.



Scheiben und Räder der Lampe Dornfeld.

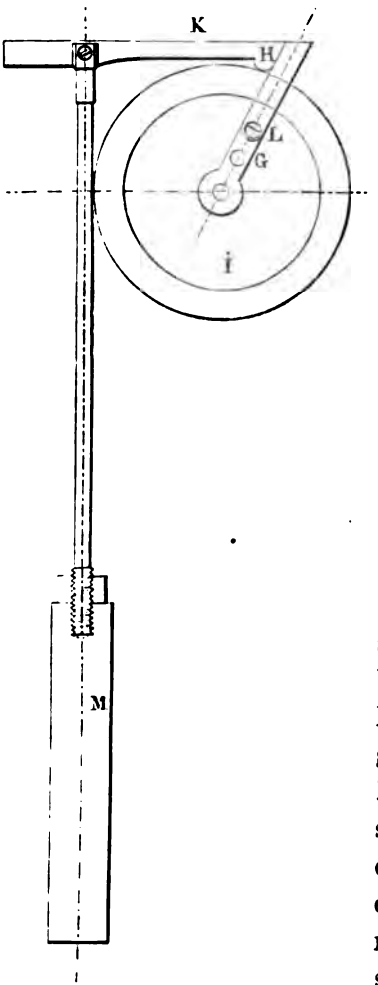
ein Stift hineinragt, die Bewegung dieses Theiles der Bremse nach rückwärts begrenzend. An dem obern Theile der Bremse sitzt der Bremsklotz *H* und am andern Ende hängt an einer Messingstange die schmiedeeiserne Stange *M* eines Solenoids (Fig. 265), dessen Drahtspirale stets in der Leitung eingeschlossen und das also beständig vom Strome durchflossen ist.

Wenn die Lampe in Thätigkeit gesetzt und durch das Zusammenlaufen der Kohlen die Leitung geschlossen wird, circulirt der Strom durch das Solenoid, und die Eisenstange *M* wird in die Drahtspirale hineingezogen. Hierdurch aber wird der Bremsklotz *H* auf den Umfang der Scheibe *I* gepresst und bei seiner weiteren Bewegung die Scheibe mitgenommen, jedoch nur so weit, als es eine seitliche Stellschraube *O* (Fig. 263) erlaubt. Eben diese Drehung der Scheibe *I* aber dreht die Schnurscheiben ein wenig rückwärts, wodurch der obere Kohlenhalter gehoben, der untere

Digitized by Google

gesenkt und der Lichtbogen auf die richtige Länge zwischen beiden Kohlenspitzen zum Vorschein gebracht wird.

Fig. 265.



Bremse zu Dornfeld's Lampe.

Die Kohlenspitzen brennen nun nach und nach ab, der Lichtbogen wird grösser, der Strom schwächer und die Anziehung des Solenoids auf den Eisenkern *M* nimmt ab. Bei einer gewissen Länge des Lichtbogens überwiegt sodann eine Abreissfeder *p*, welche durch die Schraube *q* von aussen regulirt werden kann, die Anziehung des Solenoids; der Eisenkern *M* geht in die Höhe und bewegt die Bremse, unterstützt durch das Gewicht des obern Kohlenhalters, langsam zurück; die Bremsscheibe *I* dreht sich nun ebenfalls, so dass die beiden Kohlenhalter sich einander nähern. Ist diese Bewegung so weit gegangen, als vorher die Bremse zurückgedreht wurde, so legt sich der untere Theil der Bremse gegen den Stift, der in das Loch *G* hineinragt. In Folge dessen dreht sich bei weiterer Schwächung des Stromes die Bremse in dem Gelenk *L*, der Bremsklotz *H* lässt die Scheibe *I* los und die Kohlenspitzen bewegen sich frei gegen einander. Dadurch verstärkt sich der Strom

Digitized by Google

wieder, das Solenoid zieht wieder den Eisenkern *M* herab, die Bremse legt sich wieder auf die Scheibe, um sie entweder bloss festzuhalten, wenn die Kohlen der Stromstärke entsprechend richtig stehen, oder dieselben zurückzuholen, wenn sie einander zu nahe stehen.

Auf die beschriebene Weise wird ein ruhiges Abbrennen der Kohlen herbeigeführt; dieselben können bei einmaliger richtiger Adjustirung nie zu weit auseinander geholt werden, und andererseits ist die Regulirung der Lampe doch nicht so empfindlich, dass kleine Stromschwankungen, wie sie bei dynamo-elektrischen Lichtmaschinen oder nicht ganz gleichförmig arbeitenden Motoren kaum zu vermeiden sind, eine Bewegung der Kohlenspitzen verursachen.

Die *Dornfeld*'schen Regulatoren sind schon lange auf dem *Krupp*'schen Etablissement in grösserer Zahl in Thätigkeit und drei Stück derselben sind im Winter 1878—1879 von Nachmittags 4 Uhr bis Morgens 8 Uhr, also täglich 16 Stunden, bloss unterbrochen durch das Einsetzen neuer Kohlenstäbe, in Thätigkeit gewesen und haben stets in befriedigender Weise functionirt.

In den meisten Fällen, in denen elektrische Beleuchtung angewandt wird, z. B. bei der Beleuchtung von Arbeitsräumen, freien Plätzen u. s. w., wird die Lampe ohne Hohlspiegel und ohne Linsen angewandt, und in solchen Fällen ist es unnöthig, den Lichtbogen immer auf derselben Stelle zu erhalten. Der untere Kohlenhalter kann dann feststehend angeordnet werden, und der obere Kohlenhalter fällt durch sein Gewicht herunter und wird mittelst einer Schnur und der vorhin beschriebenen Bremse in seinen Bewegungen gehemmt und regulirt. Bei den nach diesem sehr vereinfachten Princip verfertigten *Dornfeld*'schen Lampen lassen sich leicht Kohlen verwenden, die 10—12 Stunden brennen. Lampen dieser Art gewähren den Vortheil, dass sie weit weniger kosten, dass man nicht so oft neue Kohlen einzu-

Digitized by Google

setzen braucht und daher auch der Kohlenverbrauch erheblich geringer ist, als bei Lampen mit beispielsweise vierstündiger Brennzeit, weil man dann auf zwölf Stunden nur so viel Abfall hat, als sonst auf vier Stunden.

109. Die Nebenlampen von Siemens-Halske und Schuckert. Der Gebrauch der beschriebenen Lampen ist von dem Uebelstande begleitet, dass bei unreinen Kohlen der Lichtbogen erlöschen kann; abgesehen davon, dass durch den unterbrochenen Strom Gefahr erwachsen kann, ist in vielen Fällen, so auf Leuchtthürmen, ein stetiges Licht unentbehrlich. Um ein solches zu erzielen, haben zuerst *Siemens* und *Halske* eine Nebenlampe (Deviator) construirt, welche den Zweck hat, bei einem zufällig eintretenden Verlöschen des Lichtbogens ein Nebenlicht anzuzünden und bei dem selbstthätigen Wiederauftreten des Hauptlichtes auch von selbst erlöschen zu lassen. Der Mechanismus der *Siemens-Halske*'schen Nebenlampe (Fig. 266) ergibt sich aus den folgenden Angaben des Herrn *v. Hefner-Alteneck:*

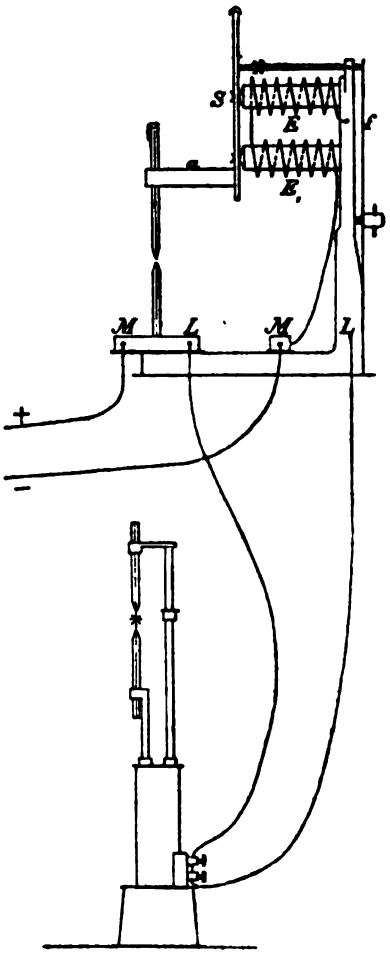
„Vor den Polen eines hufeisenförmigen Elektromagnets, dessen Schenkel E E_1 horizontal und übereinander liegen, gleitet eine Eisenschiene S, welche an einem rechtwinkelig abstehenden Arme a den obern Kohlenstift trägt, durch ihr Gewicht so weit abwärts, bis die beiden Kohlenstifte auf einander treffen. Die Eisenschiene ist dabei so geführt, dass sie sich von dem untern Pole des Elektromagnets nicht entfernen, sich aber um eine dachförmig zugefeilte Kante desselben schaukelartig ein wenig drehen kann, wobei sie sich dem obern Pole um ein Geringes nähert oder von ihm entfernt.

Das letztere geschieht in der Ruhe unter der Einwirkung der regulirbaren Feder f. Tritt der elektrische Strom in den Umwindungen des Elektromagnets auf, so hält der entstehende Magnetismus im untern Pole zunächst die Eisenschiene S durch magnetische Reibung derart fest, dass sie

Digitized by Google

auch dann nicht mehr abwärts gleitet, wenn sie ihren bisherigen Stützpunct an den Kohlenspitzen verliert. Dieses erfolgt fast in dem gleichen Momente, in dem der obere Pol die Eisenstange anzieht, sie um die dachförmige Kante des untern Poles unter Ueberwindung der Feder *f* ein wenig dreht und dabei durch den Winkelhebel, den sie mit dem obern Kohlenhalter *a* bildet, die Kohlenstifte von einander entfernt.

Fig. 266.



Siemens-Halske's Nebenlampe.

Der von einer Maschine kommende Strom geht durch die Elektromagnet-Umwindungen der Nebenlampe zum Gestell derselben und verzweigt sich da in zwei Zweige, von denen der eine durch das Kohlenstiftpaar der Nebenlampe zum untern Kohlenhalter derselben, der andere durch die Hauptlampe eben dahin und von da durch die gemeinsame Rückleitung zur Maschine führt.

Eine wirkliche Stromverzweigung findet aber nur im ersten Moment des Stromeintritts statt, da sich sofort die Kohlenstäbe des Deviators von einander entfernen; es tritt dabei kein Lichtbogen, sondern nur eine Unterbrechung

Digitized by Google

dieses Stromzweiges ein, weil der andere Zweig durch die langsamer arbeitende Hauptlampe an den sich berührenden Kohlenstiften noch kurz geschlossen ist und die Entstehung eines Lichtbogens an der Nebenlampe verhindert.

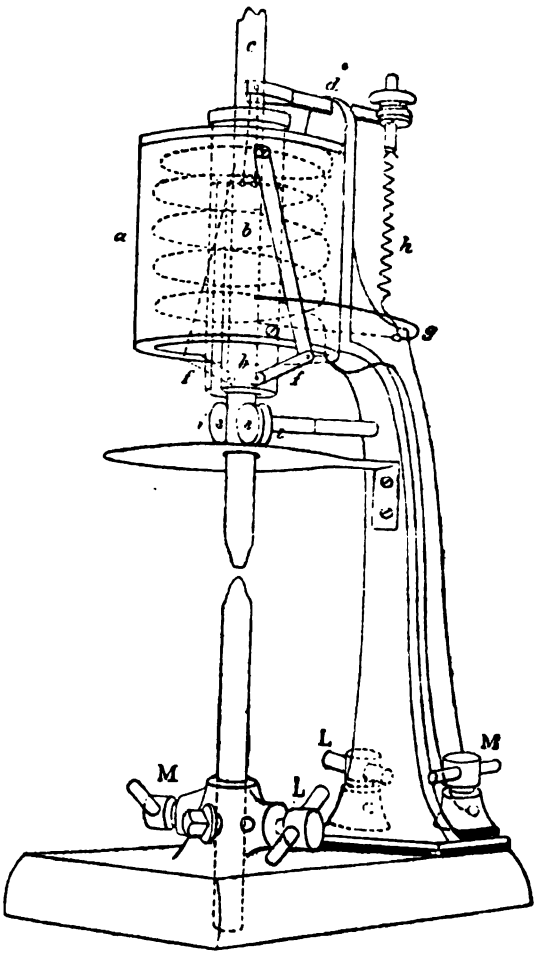
Es geht also der ganze Strom durch die Hauptlampe und setzt diese in Thätigkeit, als ob die Nebenlampe nicht vorhanden wäre. Erlischt aber einmal durch irgend einen Umstand das Licht der Hauptlampe, so hört der ganze Strom auf; der Elektromagnet der Nebenlampe lässt die Eisenschiene fallen, und diese arbeitet dann sofort als elektrische Lampe in ihrem Stromzweige. Kommen dann die Spitzen der Hauptlampe durch deren Mechanismus wieder in vorübergehenden Contact, so macht dieser den Lichtbogen an der Nebenlampe wieder erlöschen, ohne eine Bewegung an derselben zu veranlassen. Der erloschene Lichtbogen hinterlässt aber eine Unterbrechung des Nebenzweiges und die Hauptlampe tritt wieder allein in Function."

Späterhin construirte *Schuckert* zu der *Dornfeld*'schen Lampe eine Nebenlampe, welche im Princip mit der des Herrn *v. Hefner-Alteneck* übereinstimmt. Sie beruht auf demselben eigenthümlich verzweigten Stromlaufe; auch ist die Wirkungsweise wiederum die, dass die positive Kohle, wenn kein Strom vorhanden ist, auf der unteren negativen Kohle aufliegt und von der letzteren hinreichend gehoben wird, sobald die Spirale ein genügend starker Strom durchfliesst. Die Befestigung der Kohle geschieht aber durch mechanische Klemmung. Sie geht nämlich durch einen in dem Solenoid *a* frei beweglichen getheilten Anker *b b*; die beiden Ankerhälften hängen oben mit schwach nach innen federnden Drähten an dem Bügel *d* und sind unten bei den Drehpuncten *e e* mit den Gelenkarmen *f f* in Verbindung, deren obere Theile von der Feder *g* gegen einen Anschlag angedrückt werden. *i i* sind kupferne Gleitstücke, welche, durch eine schwache Feder leicht an die Kohle angedrückt,

Digitized by Google

den Stromcontact vermitteln helfen. Sobald anfänglich das Solenoid *a* vom Strome durchflossen wird, wird der Anker in dasselbe hineingezogen; in Folge dessen drücken die

Fig. 267.



Schuckert's Nebenlampe.

unteren Gelenkarme durch ihre Bogenbewegung die Ankerhälften sofort an die Kohle an, und bei weiterm Hinein-

Digitized by Google

ziehen kommt die Feder *g* in Wirkung, welche genügenden Druck ausübt, die Kohle festzuhalten und sie mit in die Höhe zu ziehen.[1])

110. Die Locomotiv- und Schiffslampe von H. Sedlaczek und F. Wikulill. Vor einigen Jahren machten die Erfinder dieser Lampe Versuche auf der Oesterreichischen Kronprinz Rudolf-Bahn mit *Serrin*- und anderen Lampen zur Verwendung beim nächtlichen Eisenbahndienst, aber keine dieser Lampen bewährte sich, da in kurzer Zeit der Regulirmechanismus durch die beständigen heftigen Erschütterungen und Stösse der Locomotive ausser Betrieb gesetzt wurde. Die Erfinder setzten sich deshalb zum Ziele, eine Lampe zu construiren, welche keinerlei Uhrwerk als Regulirungsmechanismus enthalten sollte. Sie erreichten dieses Ziel auf eine höchst vollkommene Weise in der unten näher beschriebenen Lampe, welche auf zahlreichen Probefahrten, besonders während der elektrischen Ausstellungen in Paris und München sich vorzüglich bewährte.

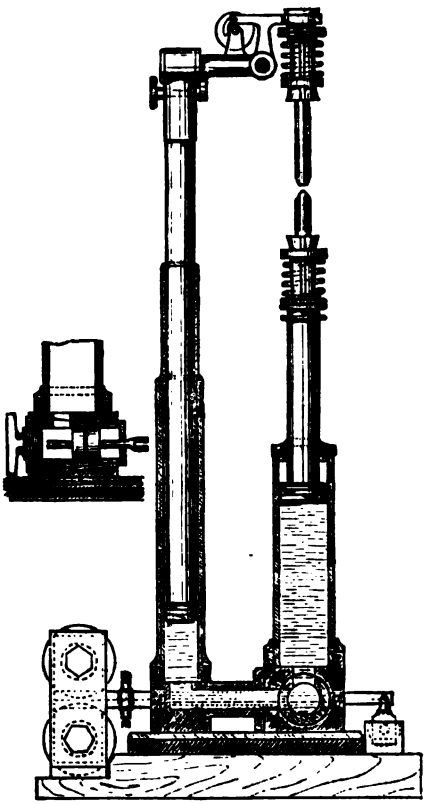
Das Princip dieser Lampe beruht in der Verwendung von verticalen, mit einander communicirenden Röhren, welche mit einer schweren Flüssigkeit, z. B. Oel oder Glycerin, gefüllt sind. Auf der Flüssigkeit liegen dichtschliessende Kolben, welche sich mit derselben auf und ab bewegen und welche die Kohlenhalter tragen. Die Regulirung kann auf zweierlei Art bewerkstelligt werden, entweder durch den elektrischen Strom oder durch einen von der dynamo-elektrischen Maschine bewegten Centrifugalregulator. Zu Anfang steht der Kolben, an welchem die positive Kohle befestigt ist (*a*. Fig. 270 s S. 510), am obern Ende der betreffenden Röhre und die ganze Röhre ist mit Flüssigkeit gefüllt. Der Kolben mit dem negativen Kohlenhalter (*b*. Fig. 270), dagegen befindet sich in der anderen Röhre unten und diese

1) Vgl. Z. f. a. E. I. 298, 314, 387, und II. 30, 68.

Digitized by Google

Röhre enthält keine Flüssigkeit. Würden die beiden Röhren mit einander frei communiciren, so würde wegen des grössern Gewichtes des obern Kohlenhalters sich dieser abwärts bewegen, die Flüssigkeit in die andere Röhre hinüberpressen und den negativen Kohlenhalter in die Höhe treiben, bis beide sich berühren. Um dies zu verhindern, ist die Communication durch einen Kolben verschlossen, der in das wagerechte Verbindungsstück beider Cylinder eingesetzt ist. Dieser Kolben hat eine Durchbohrung, welche für gewöhnlich durch die umgebenden Wandungen verschlossen ist, aber bei einer gewissen Stellung die Communication zwischen den Röhren herstellt. Die Stellung dieses Kolbens wird durch ein Solenoid oder einen Elektromagnet controlirt. Fig. 268 stellt den letztern Fall dar. Der Anker desselben ist an dem kürzern Ende eines zweiarmigen Hebels befestigt. An dem andern Ende greift eine starke regulirbare Spiralfeder an und nahe in der Mitte ist der Regulirungskolben durch eine Gelenkstange befestigt. Der Weg des Hebels ist durch zwei Stellschrauben begrenzt.

Fig. 268.



Locomotiv- u. Schiffslampe von Sedlaczek und Wikulill. (Durchschnitt.)

Digitized by Google

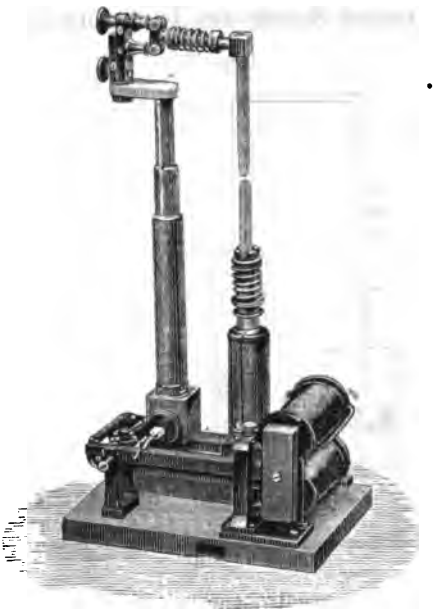
Wenn die Lampe stromlos ist, so drückt die Spiralfeder den Kolben einwärts, so dass die Verbindung zwischen beiden Gefässen mittelst der Durchbohrung frei ist. Der obere Kohlenhalter presst die Flüssigkeit in Folge seines grössern Gewichtes in die andere Röhre und hebt den untern Kohlenhalter. Dadurch nähern sich beide Kohlen so lange, bis sie sich berühren. In diesem Augenblicke wird der Stromkreis geschlossen; der Elektromagnet zieht mit grosser Kraft den Anker an und der Regulirungskolben wird auswärts gezogen. In Folge dessen wird einerseits die Communication zwischen beiden Röhren unterbrochen, anderseits der Raum in dem Gefässe mit dem untern Kohlenhalter vergrössert. Dieser bewegt sich deshalb etwas nach abwärts, die beiden Kohlenspitzen werden von einander entfernt und der Lichtbogen wird hergestellt. Die Kohlen bleiben nun in dieser Lage festgehalten, bis in Folge ihres Abbrennens die Stromstärke so klein geworden ist, dass der Elektromagnet nicht mehr im Stande ist, der Spiralfeder das Gleichgewicht zu halten, dann presst die letztere den Kolben wieder einwärts; die Durchbohrung desselben stellt auf kurze Zeit die Communication zwischen beiden Röhren wieder her und gestattet den Uebertritt eines kleinen Quantums Flüssigkeit von dem einen Gefässe in das andere; die Kohlen nähern sich wieder, bis der stärker werdende Elektromagnet die Spannung der Spiralfeder von neuem überwindet, den Kolben einwärts stösst und die Communication unterbricht. Damit der Lichtbogen immer an derselben Stelle bleibt, sind die Durchmesser der Kolben so gewählt, dass der Kolben mit der positiven Kohle den doppelten Weg macht wie der Kolben mit der negativen Kohle.

Diese Regulirung ist sehr einfach, zuverlässig und solid. Man kann die brennende Lampe von geringer Höhe herunterfallen lassen, ohne dass das Licht zuckt, trotzdem sie ein

Digitized by Google

Gewicht von 25,8kg hat. Sie wird in vorzüglicher Qualität von *S. Schuckert* in Nürnberg gebaut. Fig. 269 gibt die Ansicht einer solchen Locomotivlampe.

Fig. 269.



Locomotivlampe. (Ansicht.)

Der Kolben ist in einer aus der Fig. 268 ersichtlichen Weise in einen drehbaren Hahn mit entsprechender Durchbohrung eingelassen. Um beim Einsetzen neuer Kohlen dieselben schnell in die richtige Stellung gegen einander bringen zu können, ist noch eine zweite Bohrung im Hahn angebracht, welche bei einer bestimmten Drehung die Gefässe direct mit einander verbindet.

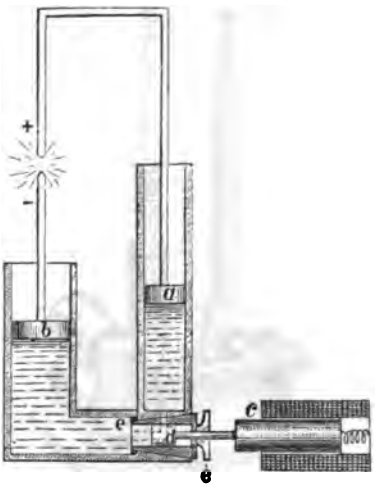
Fig. 270 zeigt schematisch den Regulirungsmechanismus mit einem Solenoid. Der Kolben *d* ist mit dem Kerne *c* verbunden, der in das vom Strome durchflossene Solenoid eintaucht. Er ist durch eine Spiralfeder äquilibrirt, so dass schon kleine Stromschwankungen genügen, die Stellung des Kernes *c* und des Kolbens *d* zu verändern. Im übrigen stimmt die Einrichtung mit der oben beschriebenen überein.

Die im Vorstehenden beschriebene Construction ist hauptsächlich für Schiffsbeleuchtung bestimmt. Bei der Beleuchtung auf Locomotiven kann man Lampe, Dynamomaschine und Motor unmittelbar neben einander aufstellen. Es wird dann zur Regulirung dieser Lampe ein Centrifugal-Regulator

Digitized by Google

benutzt, welcher mit der Achse der Dynamomaschine durch ein Gestänge verbunden ist. Dieser Centrifugalregulator wirkt direct auf den Regulirkolben. Wird die Maschine angelassen, so wird der Kolben durch die auseinanderfahrenden Kugeln des Regulators herausgezogen und verschliesst die Communication zwischen beiden Röhren. Beim weitern Herausziehen bildet sich der Lichtbogen, weil durch Nachziehen der Flüssigkeit der Kolben sinkt. Durch das Abbrennen der Kohlen wird der Widerstand in der Leitung grösser, die Stromstärke und das magnetische Feld der Maschine schwächer; die Umdrehungsgeschwindigkeit der letzteren wächst in Folge dessen. Die Kugeln werden weiter auseinander getrieben, bis bei einer gewissen Grösse des Lichtbogens eine zweite Oeffnung die Communication der Flüssigkeit herstellt und den Uebertritt derselben aus dem positiven in den negativen Cylinder gestattet, und die Kohlen einander näher rücken. Die Stromstärke und das magnetische Feld der Maschine vergrössern sich wieder, die letztere rotirt langsamer; der Regulator schiebt den Kolben nach innen und verschliesst die Durchgangsöffnungen. Diese Vorgänge wiederholen sich fortwährend; wenn man den Regulator auf grosse Empfindlichkeit construirt, so brennen die Kohlen sehr gleichmässig ab. Da die Flüssigkeit zwischen beiden Kolben, welche die Regulirung vermittelt, weder einem Drucke nachgibt noch die Bildung eines luftleeren

Fig. 270.



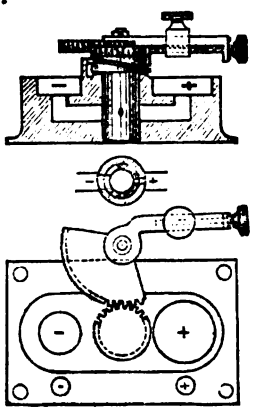
Locomotivlampe mit Solenoid.

Digitized by Google

Raumes gestattet, so brennt die Lampe trotz aller Stösse und Erschütterungen ruhig fort.

Um eine möglichst gleichförmige Regulirung zu erzielen, wirkt der Centrifugalregulator nicht direct auf den Kolben, sondern durch eine in Fig. 271 dargestellte Uebersetzung. Der Kolben ist zu diesem Zwecke mit einer in eine feste Führung eingreifenden Gleitnute versehen, welche ihn bei einer Drehung auf- und abwärts führt, so dass also die Regulirung durch eine Drehung des Kolbens zu Stande kommt. Der Kopf desselben trägt ein Zahnrad und in dieses greift ein Zahnrad-Segment, welches, wenn der Regulator spielt, eine drehende Bewegung ausführt und das Zahnrad des Kolbens mitnimmt. Die Länge des Lichtbogens kann regulirt werden, indem der Angriffspunct des Regulators durch eine Schraube verstellt wird.

Fig. 271.



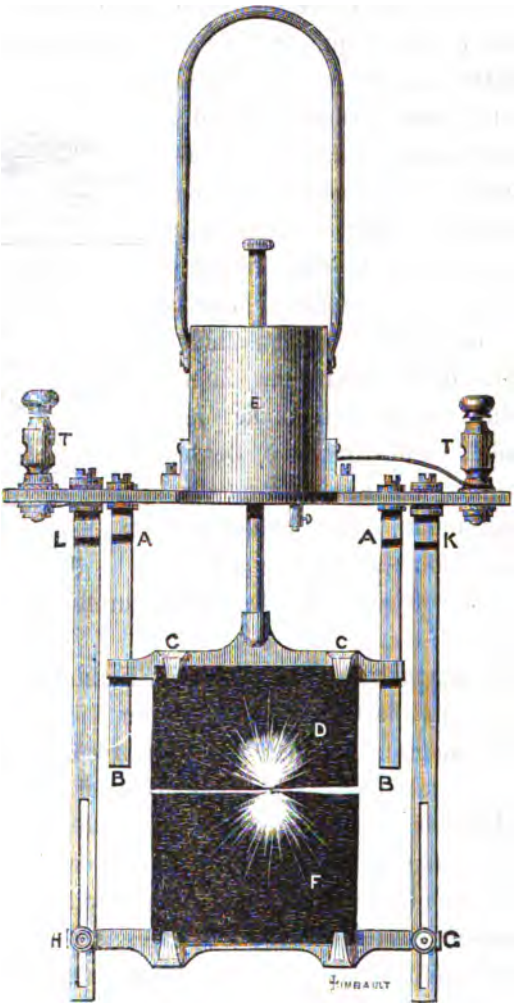
Regulirung der Locomotivlampe.

111. Die Lampe von Wallace. Die Haupteigenthümlichkeit dieser Lampe besteht darin, dass der Lichtbogen nicht wie bei den anderen Lampen zwischen zwei Kohlenstäben sich bildet, sondern zwischen zwei Kohlenplatten, welche in einem Rahmen passend befestigt sind, wie dies Fig. 272 zeigt. Der Grund dieser Einrichtung liegt in der Absicht, der Lampe jene Dauer zu verschaffen, welche für viele Verwendungen des elektrischen Lichtes so wichtig ist. Während die Kohlenstäbe der gewöhnlichen Lampen kaum acht Stunden brennen, halten die Platten dieser Lampe wenigstens zwanzig Stunden, und in einer anderen Form derselben, welche in America gebräuchlich war, waren die Kohlenplatten für eine Brenndauer von hundert Stunden

Digitized by Google

berechnet. Ausser dieser langen Brenndauer ist an dieser Lampe der einfache Regulir-Mechanismus für den Lichtbogen

Fig. 272.



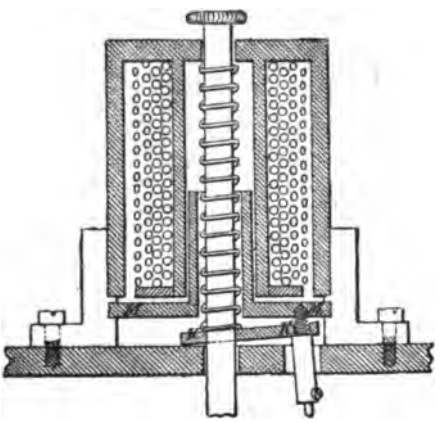
Die Lampe von Wallace.

bemerkenswerth. Derselbe ist am besten verständlich mit Hülfe der Fig. 272 und 273. Die Fig. 272 gibt eine

Digitized by Google

Ansicht der Lampe; sie zeigt die beiden Kohlenplatten *D* und *F*, welche an einem leichten Rahmen aufgehängt sind. Die untere Kohle ist fest, die obere aber vertical beweglich, und an dem Gestelle *C C*, welches an den Führungsstangen *A B* gleiten kann, eingeklemmt. Dieses Gestell ist mit einer Stange verbunden, welche durch die Höhlung des Solenoids *E*, das den Lichtbogen regulirt, hindurchgeht. Das Solenoid hat die doppelte Aufgabe, die obere Kohle im gleichen Verhältniss, wie sie abbrennt, langsam abwärts gleiten zu lassen und die Kohlen immer in der richtigen Distanz zu halten. Diese doppelte Aufgabe wird auf eine

Fig. 273.



Regulir-Mechanismus der Lampe von Wallace.

sehr einfache Art gelöst. Die Stange, welche die obere Kohlenplatte *D* trägt und welche durch die Mitte des Solenoids hindurchgeht, gleitet durch eine Oeffnung in dem kurzen Stahlstreifen *K* (Fig. 273). Der Streifen besitzt eine zweite Oeffnung, welche freien Raum gibt für eine Schraube, die in dem flachen Eisenringe *M* befestigt ist, und welche dadurch den Stahlstreifen mit dem Eisenringe verbindet.

Der Eisenring bildet den beweglichen Anker des Solenoids und wird von demselben angezogen, sobald die das-

Digitized by Google

selbe durchfliessende Stromstärke eine gewisse Grösse erreicht hat. Wenn kein Strom durch die Lampe fliesst, so fällt der Anker *M* in Folge seines eigenen Gewichtes mit dem Klemmring *K* auf die Unterlage und der obere Lampenhalter kann sich frei abwärts bewegen, bis sich die beiden Kohlen berühren. Sobald ein elektrischer Strom circulirt, wird der Anker angezogen, das Stahlstück *K* wird durch die Schraube gehoben, stellt sich schief, klemmt den obern Kohlenhalter fest und zieht ihn ein kleines Stück mit sich aufwärts. Dadurch werden die Kohlen von einander entfernt und der Lichtbogen gebildet. Ist in Folge des Abbrennens die Distanz der Kohlen zu gross geworden, so wird die Anziehung des Solenoids schwächer, die Armatur fällt zurück und lässt den Kohlenhalter durch den Klemmring gleiten.

Sollte der Lichtbogen durch irgend einen Grund ausgelöscht werden, so fällt die Armatur ab, lässt den obern Kohlenhalter abwärts sinken, bis er den untern berührt, den Strom wieder herstellt und das Spiel wieder von Neuem beginnt. Die Hauptschwierigkeit bei der Beleuchtung mit diesen Lampen liegt darin, Kohlenplatten von der nothwendigen Güte zu erhalten. Es hält schon schwer, Kohlenstäbe von gehöriger Homogenität und Zusammensetzung herzustellen. Ungleich schwieriger ist es, Platten, wie sie bei dieser Lampe zur Anwendung gebracht sind, zu fabriciren und es scheint, dass dies der Grund ist, warum die Lampe nicht diejenige Verbreitung erhalten hat, welche ihren anderen vortheilhaften Eigenschaften gemäss zu erwarten wäre.

Auf das gewaltige Material, welches zahlreiche Zeitgenossen zur weiteren Vervollkommnung oder wenigstens zur Abänderung der beschriebenen Lampen beigetragen haben, kann leider hier nicht eingegangen werden; doch sollen wenigstens die Namen einiger Männer, welche der Construction elektrischer Lampen ihre Aufmerksamkeit und

Digitized by Google

Mühe widmeten, angeführt und mit einem Vermerk begleitet werden, welches die Quelle angibt, wo die bezügliche Lampe beschrieben ist:

Le Molt[1]), *Harrison*[2]), *Way*[3]), *Lacassagne* und *Thiers*[4]), *Archereau*[5]), *Gaiffe*[6]), *Carré*[7]), *Dubos*[8]), *Girouard*[9]), *Chertemps*[10]), *Thomson und Houston*[11]), *Hiram Maxim*[12]), *Fuhr*[13]), *Kuhns*[14]), *Kuhlo*[15]) *Horn*[16]), *Menges*[17]), *Bohm*[18]), *Godfrey*[19]), *Kröttlinger*[20]), *Hélie de Talleyrand*[21]), *Francisque Million*[22]), *Otto Schulze*[23]), *Mackenzie*[24]), *L. Scharnweber*[25]). Auch sei hingewiesen auf das Verzeichniss der bis 1879 einschl. veröffentlichten Constructionen elektrischer Lampen, welche *Uppenborn* in der Z. f. a. E. 1880, p. 94, zusammengestellt hat.

---

1) Die elektrische Beleuchtung von *H. Fontaine,* p. 13. — 2) ib. p. 14 und 22. — 3) ib. p. 21. — 4) ib. p. 23. — 5) ib. p. 29. — 6) ib. p. 30. — 7) ib. p. 51. — 8) ib. p. 38. — 9) ib. p. 42. — 10) ib. p. 50. — 11) ib. p. 55. — 12) ib. p. 58. — 13) Z. f. a. E. 1879, p. 222. — 14) ib. p. 327. — 15) Z. f. a. E. 1880, p. 78. — 16) ib. p. 142. — 17) ib. p. 314. — 18) ib. p. 369. — 19) ib. p. 445. — 20) ib. p. 437. — 21) Z. f. a. E. 1881, p. 32. — 22) ib. p. 98. — 23) ib. p. 141. — 24) ib. p. 165. — 25) ib. p. 369.

Digitized by Google

X. Abtheilung.

Die Theilung des elektrischen Lichtes. Nebenschluss- und Differential-Lampen.

Lampen zur Parallelschaltung.

Die Regulirung der bisher besprochenen Lampen ist abhängig von den Vorgängen im Stromkreise ausserhalb der Lampe; eine jede durch den Lichtbogen einer Lampe hervorgerufene Stromschwankung veranlasst auch den Mechanismus einer zweiten in denselben Stromkreis eingeschalteten Lampe zu unzeitiger Thätigkeit. Daher ist eine gleichzeitige Einschaltung mehrerer Lampen dieser Art in dasselbe Stromnetz nicht angängig; sollte aber die elektrische Beleuchtung mit der Gasbeleuchtung, welche dem Zwecke einer allseitigen und gleichmässigen Beleuchtung in so hohem Grade entspricht, erfolgreich concurriren können, so musste die Aufgabe, mehrere elektrische Lampen an verschiedenen Puncten eines und desselben Kreislaufes des Stromes speisen zu können, in erster Linie gelöst werden. In einem solchen Falle würde man erst die elektrische Leitung von der Lichtmaschine aus überallhin führen und an allen geeigneten Stellen eine Lampe einschalten können, deren Lichtstärke etwa nicht grösser als die mehrerer Gasflammen wäre. Die älteren

Digitized by Google

112. Versuche, das elektrische Licht zu theilen, sind in der That darauf gerichtet gewesen, den elektrischen Strom durch zwei oder mehrere Lampen zugleich hindurchzuleiten, und *Quirini* (1855) in Venedig behauptet geradezu, dass sich eine solche Theilung mit Erfolg durchführen lasse. Dem gegenüber erklärt jedoch *Deleuil,* Mechaniker in Paris, dass er schon mehrere Jahre vorher mit einer Batterie von 80 *Bunsen*'schen Elementen die genannte Einschaltungsweise versucht, aber es nie dahin gebracht habe, drei Lampen gleichzeitig länger als fünf Minuten ohne Störung zu unterhalten. Bei einer Theilung der Batterie derart, dass statt 80 Elemente hinter einander drei einzelne Batterien à 20 Elemente in etwas anderer Schaltung mit den Lampen verbunden wurden, ergab sich, dass die Lampen mit nahezu gleicher Intensität höchstens 15 Minuten befriedigend wirkten. Die Einschaltung auch nur zweier Lampen in einen und denselben Stromkreis führt daher nicht zum Ziele, die Leuchtkraft einer elektrischen Maschine zu theilen: die Lampen, auch wenn sie durchaus nach demselben System gebaut sind, kämpfen unaufhörlich einen Kampf um's Dasein; bald leuchtet die eine in vollem Glanze und die andere erbleicht; dann gewinnt die letztere wieder die Oberhand und die erste lässt nach. Es ist nicht schwer, die Ursache dieses Misserfolges zu erkennen, wenn man bedenkt, dass der *Volta*'sche Licht- und Flammenbogen dem Durchgange des Stromes einen sehr grossen Widerstand entgegensetzt, welcher durch das Abbrennen der Kohlen bedeutend zunimmt, wenn die Regulirvorrichtung in einer der Lampen nur einen Augenblick ruht. Diese Schwankungen in den Widerständen wirken aber sofort wieder auf die Grösse der Stromstärke ein, und hieraus resultirt eine Unregelmässigkeit in der Bewegung der Kohlenspitzen, welche die beste Lampe nicht ausgleichen kann.

Nicht besser gelingen die Versuche, von den beiden Polen der stromgebenden Maschine zwei oder mehrere Draht-

Digitized by Google

leitungen abzuzweigen und in jede dieser Zweigleitungen eine besondere Lampe einzuschalten. Auch in diesem Falle haben die Veränderungen in dem Widerstande des Lichtbogens einer Lampe unausgesetzte Schwankungen in den Widerständen der anderen Lampen und damit andauernde Unregelmässigkeiten in der Stromstärke und mangelhaftes Functioniren aller Regulirvorrichtungen zur Folge.

Einen anderen Weg schlug *Le Roux* (1868) ein. Er verwerthete die Beobachtung *Wartmann's*, dass der Lichtbogen nicht entsteht, wenn die Kohlenspitzen durch eine noch so kleine Schicht Luft von gewöhnlicher Temperatur von einander entfernt sind, dass er dagegen sofort von selbst wieder entsteht, auch wenn die Entfernung der beiden Kohlenspitzen fast 3mm beträgt, wenn er einmal vorhanden gewesen ist und dann der Strom unterbrochen und wieder hergestellt wird; nur darf die Dauer der Unterbrechung nicht $^1/_{25}$ Secunde überschreiten. Auf Grund dieser Erfahrung construirte er eine Vorrichtung, die den Zweck hatte, das elektrische Licht einer galvanischen Batterie oder einer Alliance-Maschine zu theilen, indem er den Strom vermittelst eines schnell umlaufenden Vertheilungsrades abwechselnd bald in die eine, bald in eine zweite elektrische Lampe leitete und dafür sorgte, dass die Unterbrechung den obigen Betrag der Secunde nicht überschritt. Bei den magnet-elektrischen Alliance-Maschinen kann die Unterbrechung der Leitung je nach der Anzahl der Touren, welche die umlaufende Achse in der Minute macht, und nach der Zahl der Magnete leicht auf ein bis zwei Zehntausendstel einer Secunde gebracht werden. Es ist dieses auch der Grund, warum diese Maschinen, wie alle Lichtmaschinen mit Wechselströmen, ein ununterbrochenes Licht geben, obwohl es nach den Untersuchungen von *Jamin* und *Roger* mit rotirenden Spiegeln in Wirklichkeit discontinuirlich ist. *Le Roux* gelang es auf diese Weise, wenigstens in dem Falle, dass er nur zwei

Digitized by Google

Lampen und sehr dünne Kohlenstäbchen anwandte, beide Lichter in vollkommen gleicher Stärke zu unterhalten; zu einer weiter gehenden Theilung des Lichtes aber hat er es nicht gebracht.

Mersanne (1873) änderte das Verfahren von *Le Roux* dahin ab, dass er das Vertheilungsrad durch eine horizontale Welle ersetzte, welche eine Reihe von Kämmen trug. Die Anzahl dieser Kämme entsprach der Zahl der zu speisenden Lampen. Vom positiven Pole der Batterie führte zu jeder Lampe ein Draht, während der negative Pol mit einer Anzahl von Stäben verbunden war, welche durch die Einwirkung der Kämme abwechselnd gehoben wurden. Die Stäbe tauchten in Quecksilbernäpfchen, die mit dem zweiten Kohlenstäbchen der Lampen vorbunden waren. Es ist klar, dass durch eine rasche Drehung der Walze eine Stromtheilung nach dem von *Le Roux* angegebenen Princip erzielt werden kann; eine praktische Anwendung im Grossen hat aber auch diese Einrichtung nicht gefunden.

Eine bessere Methode der Theilung des elektrischen Lichtes und der gleichzeitigen Speisung mehrerer Lampen mit einer Maschine war die Ableitung von Partialströmen aus der stromerzeugenden Lichtmaschine. Wir haben gesehen, dass die Wechselstrommaschinen von *Lontin* (§. 68), *Gramme* (§. 69), *Siemens-Halske* (§. 71) u. s. w. zur Zeit speciell für die Zwecke der Lichttheilung gebaut wurden und diesen Zweck dadurch erreichten, dass sie mehrere von einander unabhängige Stromsysteme lieferten, von denen jedes eine Lampe unterhielt.

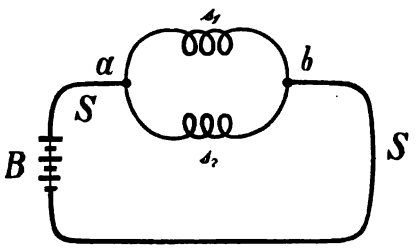
Das Problem indessen, mehrere Lampen durch denselben Strom speisen zu können, wurde erst im Jahre 1879 gelöst, wo es gelang, von der im §. 25 besprochenen Stromtheilung behufs Regulirung elektrischer Lampen eine glückliche Anwendung zu machen, nach welcher die Lampen gewissermaassen von einander isolirt und von der allen

Digitized by Google

gemeinschaftlichen Hauptleitung möglichst unabhängig gemacht werden.

Denken wir uns (Fig. 274) in dem Zweigdrahte $a\ s_2\ b$ einen grossen Widerstand und in dem andern $a\ s_1\ b$ eine Lampe mit regulirbarem Lichtbogen eingeschaltet, so wird in dem Augen-

Fig. 274.



blicke, wo die Kohlenspitzen in den Lampen zusammenlaufen, der Widerstand w_1 in diesem Zweige sehr gering sein im Verhältnisse zu dem künstlichen grossen Widerstande des Drahtes $a\ s_2\ b$. Der grössere Theil des Stromes S geht dann durch die Lampe, der kleinere durch den künstlichen Widerstand $a\ s_2\ b$, doch so, dass hinter der Stromverzweigung von b aus der ganze Strom S durch die Leitung zu den folgenden etwa noch eingeschalteten Lampen weiter geht. Wie sich nun auch in Folge des Abbrennens der Kohlen der Lichtbogen und damit der Widerstand in der Lampe vergrössern mag, so hat dieses doch auf die Grösse des bei b wieder austretenden Stromes S so lange keinen Einfluss, als der volle bei a eintretende Strom über den andern Zweig $a\ s_2\ b$ ungehindert abfliessen kann, ohne sich dabei theilweise in Wärme umzusetzen. Die Ungleichheiten in den Stromstärken der beiden Drahtzweige gleichen sich innerhalb der Verzweigung zwischen a und b aus, so dass unter der angeführten Bedingung die Leitungsströme beim Eintritt in die Schleife bei a und beim Austritt aus derselben bei b wesentlich dieselbe Stärke haben, und daher eine

Digitized by Google

in einer solchen Schleife eingeschaltete Lampe durch ihre Regulirung keinen erheblichen Einfluss auf die in gleichen Schleifen derselben Leitung befindlichen anderen Lampen ausüben kann.

Aehnliches gilt auch, wenn statt der Lampen mit Lichtbogen Kohlenstäbchen, Platinspiralen oder überhaupt mehrere Glühlicht-(Incandescenz-)Lampen (cf. Abth. XII) hintereinander in die Leitung eingeschaltet werden; das Abbrennen oder Schmelzen einer solchen glühenden Platinspirale führt keineswegs das Verlöschen aller anderen in derselben Leitung befindlichen Spiralen herbei, weil der Strom in derjenigen Lampe, wo das Abschmelzen stattfindet, seinen Umweg durch den nicht abgebrannten Drahtzweig nimmt. Findet in einem solchen Zweigdrahte eine gänzliche Unterbrechung der Leitung statt, z. B. beim zufälligen Erlöschen des Lichtbogens in einer Lampe oder beim Abschmelzen einer Platinspirale, so wird der Gesammtwiderstand in der Schleife grösser, als er früher war, wo beide Zweigdrähte noch den Strom leiteten. Der Strom in der ganzen Leitung wird dadurch geschwächt, aber die Leitung selbst nicht unterbrochen.

113. Die ersten Anwendungen der Stromverzweigung in der elektrischen Beleuchtung. Die Ersten, welche von der Stromtheilung behufs Regulirung einer elektrischen Lampe Anwendung gemacht haben, scheinen *Lacassagne* und *Thiers* in Lyon gewesen zu sein. Im Jahre 1855 construirten sie eine Kohlenlicht-Lampe, in welcher das Nachschieben des einen Kohlenhalters dadurch bewirkt wurde, dass letzterer mit dem Kolben eines verticalen eisernen Cylinders in Verbindung stand und in dem Maasse, als der Lichtbogen sich durch das Abbrennen der Kohlen vergrösserte, aus einem höher gestellten Reservoir Quecksilber unter Druck in den genannten Cylinder unterhalb des Kolbens einströmte und den Kolben mit dem Kohlenhalter in die Höhe schob. Der Zufluss dieses Quecksilbers durch den Verbindungs-

Digitized by Google

schlauch wurde durch zwei Elektromagnete und deren Anker regulirt, welche vermittelst eines Hebels auf den Schlauch drückten und seinen Querschnitt und damit den Zufluss des Quecksilbers selbst je nach dem Grade des ausgeübten Druckes veränderten.

Der eine Elektromagnet (I) war in den Hauptstrom eingeschaltet, welcher durch die beiden Kohlen ging und den Lichtbogen erzeugte; der zweite Elektromagnet (II) befand sich in einer vom Hauptstrome abgezweigten, aus zwei Rollen dünnen Eisendrahtes bestehenden Zweigleitung von grossem Widerstande, durch welche der das Licht gebende Hauptstrom nicht passirte. Sobald durch Oeffnen eines Hahns das Quecksilber des obern Reservoirs unter den Kolben des tiefer stehenden eisernen Cylinders durch den Verbindungsschlauch einströmte, wurde der Stromkreis geschlossen, der Anker des Elektromagnets (I) kräftig angezogen und der Schlauch so stark zusammengedrückt, dass kein Quecksilber überfloss. Es mussten nun die Kohlen zunächst mit der Hand so weit auseinandergerückt werden, dass sich der Lichtbogen bildete. Sobald derselbe die durch eine Regulirschraube zu fixirende Länge erreicht hatte, wurde der Hauptstrom schwächer, der Zweigstrom des Elektromagnets (II) dem entsprechend stärker, der Anker im Zweigstrom ebenfalls kräftiger angezogen und vermittelst des Hebels der Schlauch wieder so weit geöffnet, dass das Quecksilber sofort wieder überströmte und den Kolben sammt Kohlenhalter wieder hob. Damit aber erreichte der Elektromagnet (I) wieder seine volle Anziehungskraft und das Spiel wiederholte sich so lange, bis die Kohlen verbrannt waren.

Die vorstehende Lampe regulirte ungemein regelmässig und empfindlich, so dass kein Zucken des Lichtes wahrnehmbar war; im Uebrigen litt sie an manchen Mängeln der Construction und besonders daran, dass man für die erste Entstehung des Lichtbogens die Kohlen mit der Hand

Digitized by Google

von einander trennen musste. An eine Benutzung der Stromverzweigung zum Zwecke der Lichttheilung schienen die Lyoner Chemiker nicht gedacht zu haben; die in den beiden Drahtzweigen eingeschalteten Elektromagnete dienten nur dazu, den Lichtbogen zu reguliren, wobei der Magnet (I) an die Stelle der in den neueren Lampen vorkommenden und der Wirkung des Regulir-Elektromagnets entgegenwirkenden Feder trat.

Der Erste, der die Zweigströme dazu anwandte, das durch den elektrischen Strom erzeugte Licht zu theilen, war *de Changy* (Belgien). Das Licht wurde durch Glühen von Platinspiralen erzeugt (Glüh- oder Incandescenz-Licht s. XII), welche an verschiedenen Stellen der Leitung eingeschaltet waren und das Abschmelzen derselben durch eine an jeder Spirale angebrachte, den Strom vertheilende Zweigleitung verhütet. In dem belgischen Patente hierüber heisst es ungefähr folgendermaassen: In dem Hauptstrome befindet sich ein Elektromagnet, dessen Windungen von dem Strome durchlaufen werden. Der aus diesen Windungen austretende Strom endigt im Drehpuncte des Ankers, von wo aus sich der Strom verzweigt einerseits zu der Klemme der Platinspirale, die weissglühend gemacht werden soll, und andererseits zur Fortsetzung der Hauptleitung, wobei eine regulirbare Spannfeder den Anker stets vom Magnete in einer bestimmten Entfernung zu halten sucht. Sobald der durch die Platinspirale gehende Zweigstrom einen bestimmten Grad erreicht, dessen Ueberschreiten das Abschmelzen derselben zur Folge haben könnte, zieht der Elektromagnet seinen Anker an und unterbricht die Zweigleitung zur Spirale, wobei jedoch der Hauptstrom nicht unterbrochen wird und vom Drehpuncte des Ankers aus zur Hauptleitung weiter geht. Auf diese Weise lässt sich der Hauptstrom an beliebig vielen Stellen theilen, indem man zugleich im Verhältnisse zu der Anzahl dieser Theilpuncte, d. h. der glühend

Digitized by Google

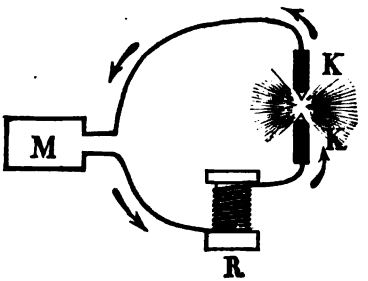
zu machenden Spiralen, den Strom verstärkt. Das Durchbrennen einer oder mehrerer Spiralen bleibt ohne störenden Einfluss auf die anderen, und man kann zum Zwecke dieser Regulirung entweder Elektromagnete und Anker oder Solenoide und Eisenkerne anwenden. Im Grunde beruht also die Möglichkeit der Theilung des Stromes nach *de Changy* darauf, dass es dem Strome gestattet ist, einen der leuchtenden Brenner zu überspringen, wenn er ein bestimmtes durch Regulirung festgesetztes Maximum der Intensität erreicht hat.

Seit diesen ersten Anfängen der Benutzung von Zweigströmen zur Regulirung und zur Theilung des elektrischen Lichtes sind die hervorragendsten Elektriker bemüht gewesen, die einzelnen Regulirungs-Mechanismen zu vervollkommnen und zugleich die Widerstände der Zweige, in welche sich die Hauptleitung bei jedem Lichte theilt, richtig zu bemessen, wobei vor Allem ins Auge zu fassen ist, dass, wenn unter den in der Leitung befindlichen Lichtern eines erlischt und die Leitung in dem Lichtapparate unterbrochen ist, dem Hauptstrome immer noch ein anderer Zweig der Leitung zur Verfügung stehe, auf welchem er zu den folgenden Lichtern weiter fliessen kann. Dieses Princip bleibt immer dasselbe, ob man für die Regulirung des Lichtes Elektromagnete mit Ankern und regulirbaren Abreissfedern, oder Solenoide mit einziehbaren Eisenkernen, oder beide Vorrichtungen zugleich anwendet. Die Einrichtung gestaltet sich etwas verschieden, je nachdem man Lampen mit variabeln Lichtbogen oder Glühlichtlampen, und zu ihrem Betriebe continuirliche oder Wechselströme anwendet. Nachdem schon früher *Dr. W. Siemens* einige Lampen hatte patentiren lassen, denen das Princip der Nebenschliessungen des Lichtbogens zur Regulirung desselben zu Grunde lag, und eine solche Lampe im Jahre 1873 auf der Welt-Ausstellung zu Wien ausgestellt hatte, gelang es 1878 fast

Digitized by Google

gleichzeitig *Lontin*, *Mersanne* und *Fontaine* in Paris, das genannte Princip zur Regulirung und zur Theilung des Lichtbogens einer einzigen Stromquelle anzuwenden und somit mehrere Lampen derart in einer einzigen Leitung in Betrieb zu halten, dass keine durch ihre Regulirung störend auf die anderen einwirkte. In der neuesten Zeit haben *v. Hefner-Alteneck*, der rühmlichst bekannte Chef des Constructions-Bureaus der Firma *Siemens & Halske* in Berlin, durch Einführung einer neuen eigenthümlichen Differential-Einwirkung von zwei Zweigströmen sowie *Krizik* und *Piette* durch wesentliche Vereinfachung des Lampen-Mechanismus überhaupt das lange gesuchte Problem der Theilung des elektrischen Lichtbogens in einer so vollkommenen Weise gelöst, dass nun wohl in der weiteren Verbesserung der elektrischen Lampen für einige Zeit ein Stillstand eintreten

Fig. 275.



Stromschema für die Regulirung von Einzellichtern.

dürfte. In dem Nachstehenden werden wir die wichtigeren Theile der genannten Lampen der Reihe nach besprechen und dabei zwischen Differential- und Nebenschluss-Lampen unterscheiden, je nachdem zur Regulirung des Lichtbogens die Differenzwirkung des durch die Hauptleitung und eine Nebenleitung fliessenden Stromes oder nur die Wirkung eines Nebenschlusses benutzt wird.

Wir erhalten so für die Lampen, bei welchen die

Digitized by Google

Distanz der Kohlen durch einen Mechanismus regulirt wird, eine Eintheilung, welche auch ein gewisses theoretisches Interesse darbietet. In erster Linie haben wir die im vorhergehenden Abschnitte betrachteten elektrischen Lampen für Einzellichter. Die Regulirung geschieht durch einen Elektromagnet R (Fig. 275) oder durch ein Solenoid, die mit dem Lichtbogen K K in die Hauptleitung eingeschaltet sind. Da die Wirkung derselben ganz allein von der die Leitung durchfliessenden Stromstärke bedingt ist, so hat der Mechanismus das Bestreben, die Lampe so zu reguliren, dass die Stromstärke constant bleibt. Schaltet man mehrere solcher Lampen in denselben Stromkreis, so treten, wenn der Lichtbogen in einer Lampe zu gross geworden ist, sofort die Elektromagnete aller Lampen in Function und beginnen auch diejenigen Lichtbogen zu reguliren, welche in normalem Zustande sich befinden. Die Folge davon ist ein beständiges Zucken fast aller Lichtbogen, welches gewöhnlich mit dem Erlöschen derselben endigt. *Gülcher* hat gezeigt, dass mit besonderen Kunstgriffen es möglich ist, auch Lampen, welche auf constante Stromstärke reguliren, deren Elektromagnete in der Hauptleitung liegen, zu mehreren in dieselbe Leitung einzuschalten. Wir beschäftigen uns später ausführlich mit diesem Problem.

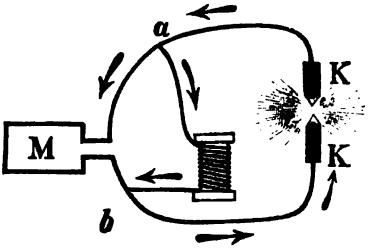
Dann haben wir die Nebenschlusslampen. Die Regulirung (Fig. 276) des Lichtbogens K K geschieht von einem Elektromagnet oder einem Solenoid, die in einem Nebenschluss zum Lichtbogen liegen. Der Widerstand w der Kupferdrähte, welche diesen Nebenschluss bilden, bleibt immer nahezu constant. Da jeder Elektromagnet auf constante Stromstärke i regulirt, so bleibt für den Nebenschluss auch das Product $i \times w$ constant; das ist aber nichts anderes als die Spannung an den beiden Enden a, b des Nebenschlusses. Die Nebenschlusslampen haben also die wichtige

Digitized by Google

Eigenschaft, dass durch die Regulirung die Spannung an ihren Polen immer constant erhalten wird.

Verwendet man nun zur Erzeugung des elektrischen Stromes dynamo-elektrische Maschinen *M* mit constanter

Fig. 276.



Schema der Nebenschluss-Lampen.

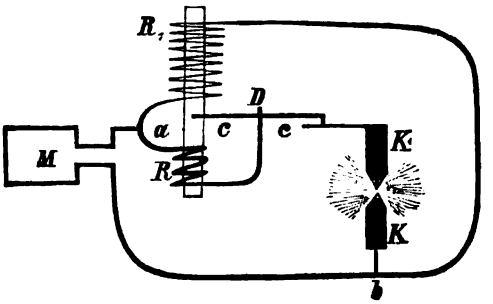
Spannung, deren Princip wir auf S. 268 erörtert haben, so lösen die Nebenschlusslampen das Problem der Theilung des elektrischen Lichtes auf eine höchst vollkommene Weise. Jede Lampe brennt absolut unabhängig von den anderen, so lange nur die Spannung der dynamo-elektrischen Maschine dieselbe bleibt. Wir wollen schon hier bemerken, dass die meisten Lampen mit Nebenschluss noch einen zweiten Elektromagnet, welcher in die Hauptleitung eingeschaltet ist, besitzen. Der letztere wird aber nicht zur Regulirung des Lichtbogens verwendet, sondern hat ganz allein den Zweck, den Lichtbogen zu bilden, wenn derselbe erloschen ist.

Endlich haben wir noch die Differential-Lampen (Fig. 277). Bei denselben wird der Regulirmechanismus durch zwei Elektromagnete oder zwei Solenoide $R\,R_1$ controlirt. Die eine Drahtspirale derselben R liegt mit dem Lichtbogen in derselben Leitung, die andere R_1 in einer Nebenleitung zu demselben. Dieselben wirken nun auf passend angeordnete Eisenmassen in entgegengesetztem Sinne und es wird daher die Differenz zwischen beiden Wirkungen zur Regulirung benutzt. Bezeichnen wir die

Digitized by Google

Stromstärke in der Hauptleitung mit J, die Stromstärke in der Nebenleitung mit i, so sucht die Regulirung die Wirkung derselben zu äquilibriren, so dass zwischen den beiden Stromstärken ein constantes Verhältniss besteht, welches durch die Wicklung und die Anordnung der beiden Spulen bestimmt wird. Da aber überdies noch der Widerstand w in

Fig. 277.



Schema der Differential-Lampen.

der Nebenleitung constant bleibt, also auch die Spannung p an den Enden derselben, so regulirt die Lampe so, dass zwischen den beiden Grössen J, Stromstärke im Lichtbogen und p, Spannung an den Polklemmen der Lampe eine gewisse durch die Construction der Lampe bedingte Beziehung besteht.

Die Differential-Lampen haben für die Verbreitung der elektrischen Beleuchtung ein sehr grosses Verdienst. Die Nebenschlusslampen, die in neuester Zeit hervortreten, functioniren nur dann gut, wenn die Maschine Ströme von constanter Spannung liefert. Diese Forderung ist jetzt noch selten genau erfüllt und früher war sie es gar nie; es waren daher die Differential-Lampen die einzigen Lampen, welche die Theilung des Lichtes ermöglichten, da sie die Fähigkeit haben, sich auch beträchtlichen Schwankungen der Stromstärke anzupassen. Wir betrachten in Uebereinstimmung mit der historischen Entwickelung zuerst

Digitized by Google

die einfacheren Nebenschluss-Lampen und hierauf die Differential-Lampen, heben aber auch hier wieder hervor, dass die neueste Technik sich wieder mehr den Nebenschluss-Lampen zuwendet.

I. Nebenschluss-Lampen.

Das Wesentliche derselben ist die Art und Weise, wie die beiden Zweigströme, in welche sich bei jeder Lampe der Hauptstrom vertheilt, zur Regulirung des Lichtbogens benutzt werden. Der eine dieser Ströme (der Lichtstrom) geht durch die beiden Kohlen, der andere umgeht die Kohlen und geht durch die Umwindungen eines Elektromagnets oder eines Solenoids, die aus einer hinreichend grossen Anzahl von Windungen eines dünnen Drahtes bestehen, um dem Strome einen sehr grossen Widerstand darzubieten. Der Anker des Elektromagnets oder der Eisenstab des Solenoids halten, so lange sie nicht angezogen werden, den zur Annäherung der beiden Kohlen dienenden Mechanismus in Ruhe. So lange die Kohlenspitzen die zur Bildung des Lichtbogens erforderliche richtige Entfernung haben, geht der Strom durch die Kohlen, und nur ein verschwindender Theil desselben geht wegen des sehr grossen Widerstandes durch den Elektromagnet, der davon weiter nicht afficirt wird; wenn aber der Lichtbogen grösser wird, wächst sein Widerstand; der durch die Kohlen gehende Strom wird nun schwächer und in gleichem Maasse wird der um den Elektromagnet gehende Zweigstrom stärker, bis dieser endlich den Magnet in Thätigkeit versetzt und der Anker angezogen wird. Der Bewegungs-Mechanismus für die Kohlen wird hierdurch ausgelöst und bringt die letzteren wieder einander so nahe, als es für die Erhaltung des Lichtbogens erforderlich ist. Wenn dieses geschehen ist, geht der Hauptstrom wieder wegen des kleiner gewordenen Widerstandes der Kohlen durch diese letzteren; der Elektromagnet

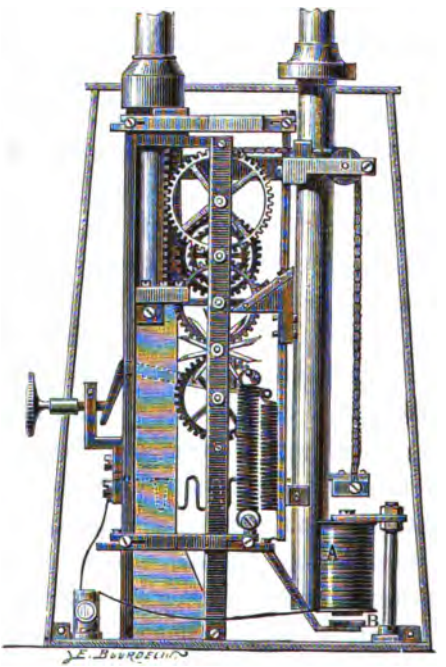
Digitized by Google

des Nebenzweiges verliert seine Kraft, der Anker fällt ab und sperrt den Bewegungs-Mechanismus für die Kohlen von Neuem.

Dieses Princip des Zweigstromes lässt sich auf alle Lampen anwenden, welche die Entfernung der Kohlenspitzen selbstthätig bewirken. Die Fig. 254, S. 472 zeigt eine solche von *Lontin* angegebene Einrichtung für die *Serrin*'sche Lampe.

114. Die Nebenschluss-Lampe von Serrin-Lontin. Ein Vergleich der Fig. 278 und Fig. 254 lässt den Bewegungs-Mechanismus der Kohlen und den Elektromagnet so wie die Unterschiede beider Lampen sofort erkennen. Der Strom, welcher in die Klemme links eintritt, spaltet sich hier in zwei Zweige, von denen der eine durch die beiden Kohlen und dann zur Austrittsklemme, der andere aber sich nach dem Elektromagnet und zu derselben Austrittsklemme abzweigt. Zuerst, wenn der Strom in die Lampe eingelassen wird, und die Kohlen sich noch nicht berühren, geht der ganze Strom durch den Elektromagnet: der Anker wird angezogen, der dreieckig geformte Sperrzahn gehoben und das Sternrad frei gemacht. Der obere Kohlenhalter kann

Fig. 278.



Elektrische Lampe von Lontin.

Digitized by Google

nun herabsinken und das Räderwerk in Bewegung setzen. Die Kohlenspitzen nähern sich und kommen zur Berührung. Sofort geht nun der grösste Theil des Stromes durch die Kohlen und nur ein kleiner Theil desselben passirt noch den Elektromagnet, zu klein, um den Anker angezogen zu halten. Derselbe fällt ab und zieht die Balance mit dem Sperrzahn, zugleich aber auch den untern Kohlenhalter herab. Die Kohlenspitzen entfernen sich von einander, und es entzündet sich der Lichtbogen, während zugleich das Räderwerk durch den herabgezogenen Sperrzahn arretirt wird und so lange still stehen bleibt, bis durch das Abbrennen der Kohlen der Lichtbogen einen zu grossen Widerstand bekommt, der Zweigstrom des Elektromagnets überwiegt, der Anker von Neuem angezogen wird, der Sperrzahn in die Höhe geht und das Laufwerk wieder in Bewegung tritt.

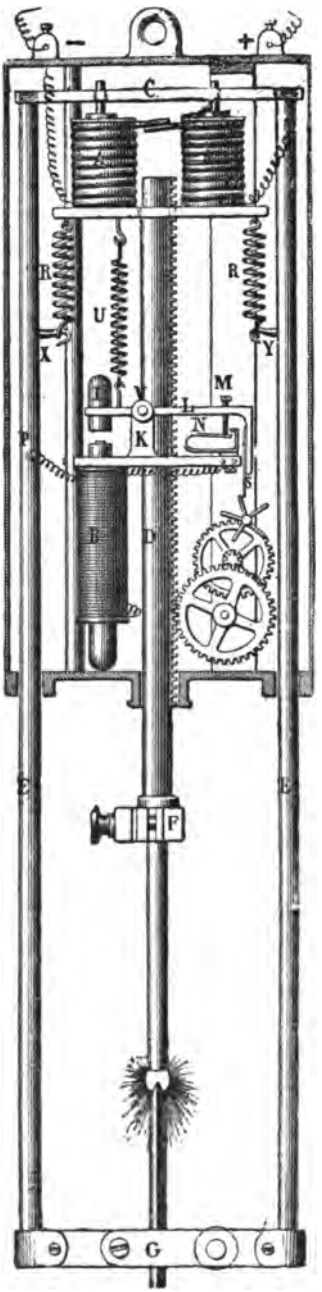
Die Empfindlichkeit der Lampe mit der Stromtheilung von *Lontin* ist bedeutend grösser als bei der gewöhnlichen *Serrin*'schen Lampe.

115. Elektrische Lampe für getheiltes Licht von Gramme. Diese Lampe enthält zwei Elektromagnete, von denen der eine in der Hauptleitung liegt und die Kohlenstäbe um eine gewisse Länge trennt, der andere aber in einer Nebenschliessung sich befindet und ein Räderwerk auslöst, sobald er seinen Anker anzieht.

Die Einrichtung der Lampe ist aus Fig. 279 leicht zu erkennen. In dem cylindrischen Gehäuse, welches das ganze Werk einschliesst, ist der Elektromagnet *A* auf einer Platte befestigt; sein Anker *C* verbindet die beiden oberen Enden der Stangen *E*. Die unteren Enden dieser Stangen sind durch den Kohlenträger *G* verbunden. Das ganze System ist mittelst der beiden Federn *R R*, welche den Anker von dem Elektromagnet *A* zu entfernen streben, aufgehängt. Der obere Kohlenträger *D* ist verzahnt und gleitet in

Digitized by Google

Fig. 279.



Elektrische Lampe von Gramme für getheiltes Licht.

passenden Führungen hinab. Die Verzahnung steht mit einem kleinen Räderwerk im Eingriff, welches dazu dient, die Bewegungen von *D* zu verlangsamen. Dieses Räderwerk wird durch das am Hebel *L* befestigte Stück *S* arretirt. Der Hebel *L* trägt linksseitig von dem Drehpunkt *V* den Anker *J*, welcher der Einwirkung des dünndrähtigen Elektromagnets *B* unterliegt. Die Feder *U* sucht den Anker *J* von dem Elektromagnet *B* zu entfernen.

Die Hauptleitung führt von dem positiven Pol zu dem obern Kohlenhalter, zur obern Kohle, zur untern Kohle, zum Elektromagnet *A* und dann zur negativen Klemme zurück; die Nebenschliessung umfasst die Strecke *V L M N* und den Elektromagnet *B*. Sobald daher die Lampe mit einer Stromquelle verbunden wird, geht der Strom durch den Elektromagnet *B*, da der Hauptstromkreis durch die Entfernung der beiden Kohlenspitzen in der Regel unterbrochen ist. Der Anker *J* wird kräftig angezogen, *S* löst das Werk aus, bis die Schraube *M* die Feder *N* loslässt und letztere

Digitized by Google

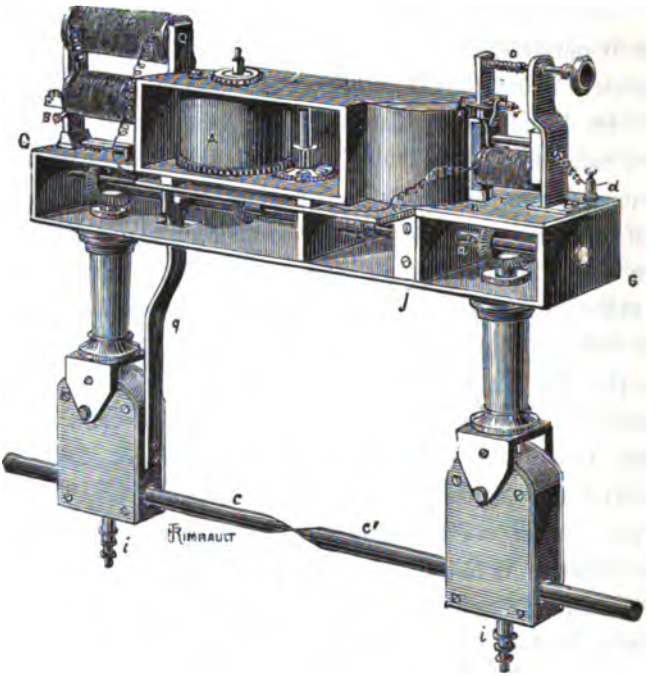
gegen den Haken fasst. Hierdurch wird *B* kurz geschlossen und der Hebel *C* beginnt zu oscilliren. In Folge dessen lässt *S* immer nur einen Flügel des Windfanges passiren, wodurch eine sehr genaue Einstellung der Kohlenstäbe möglich wird. Berühren nun die Kohlen einander, so geht jetzt ein kräftiger Strom durch *A*, während *B* in Folge seines grossen Widerstandes fast ganz stromlos wird und den Anker *J* loslässt. In Folge dessen wird das Werk arretirt und zugleich der Anker *C* vom Elektromagnet *A* angezogen und somit der Lichtbogen hergestellt. Im Verlaufe des Brennens wird der Widerstand des Lichtbogens grösser, der Strom in *B* also stärker. Sodann wird *J* angezogen und *S* lässt einen Flügel des Windfanges passiren. Die Regulirung findet continuirlich statt. Mit Hülfe dieser Lampe und einer neueren *Gramme*'schen Maschine mit flachen Magneten erhält man fünf Lichter, jedes von 1200 Normalkerzen, durch Aufwand von sechs Pferdekräften. Die *Gramme*'sche Lampe hat in Frankreich eine sehr grosse Verbreitung gefunden, besonders zur Beleuchtung von Magazinen und Fabriklocalitäten.

116. Die Lampe von Mersanne. Bei dieser Lampe wird die Bewegung der Kohlen durch ein Uhrwerk bewirkt. Fig. 281 zeigt dieselbe in einem Verticalschnitt und Fig. 280 in perspectivischer Ansicht. *A* ist das Gehäuse der Triebfeder, welche durch ein Räderwerk mit mehrfacher Uebersetzung die Welle *a* in Bewegung setzt. Die letztere besteht aus zwei durch Kuppelung mit einander verbundenen Theilen. An beiden Enden dieser Welle *a* sitzt ein konisches Zahnrad, welches in ein zweites auf der verticalen Welle *i* befestigtes Kegelrad eingreift. Durch das Getriebe *e d* (Fig. 281) wird die Bewegung auf die Frictionsrollen *g* übertragen. Dieselben pressen gegen den horizontal geführten Kohlenstab der durch die verstellbaren Rollen *h* unterstützt wird. Diese horizontale Führung des Kohlenstabes und seine Vorwärtsbewegung durch Frictionsrollen ist desshalb besonders er-

Digitized by Google

wähnenswerth, weil dadurch ermöglicht wird, sehr lange Kohlenstäbe zu benutzen und daher vermittelst der Lampe eine grosse Brenndauer zu erzielen. Das Uhrwerk kann, einmal aufgezogen, 36 Stunden laufen, und da es immer nur verhältnissmässig kurze Zeit ausgelöst wird und die Kohlen beliebig lang genommen werden können, so kann man die Lampe sehr lange brennen lassen, ohne sie berühren zu müssen.

Fig. 280.



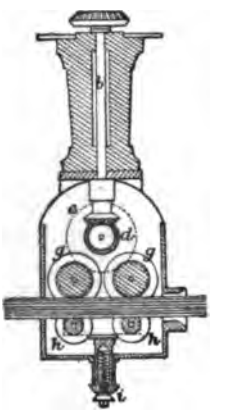
Die Lampe von Mersanne. (Verticaler Durchschnitt.)

Zur Herstellung des Lichtbogens und zur Regulirung desselben resp. zur passenden Auslösung des Uhrwerks dienen zwei Elektromagnete *C* und *B*. Der Elektromagnet *B* liegt in einer Nebenleitung zum Lichtbogen und tritt nur dann in Wirksamkeit, wenn der Strom einen genügend

Digitized by Google

grossen Widerstand in der Hauptleitung findet. Der Elektromagnet *C* mit geringem Widerstand liegt in der Hauptleitung. Beim Beginne des Betriebes berühren sich die beiden Kohlen; der Strom im Elektromagnet *C* ist dabei so stark, dass durch den Anzug des Ankers *Q q* die beweglich aufgehängte Büchse mit der Kohle etwas zur Seite geschoben wird, wodurch sich der Lichtbogen bildet. Die normale Länge desselben wird durch die vereinte Wirkung der in Folge der Stromschwächung zurücktretenden Büchse *q* und des Elektromagnets *B* unterhalten. Der Anker des letztern greift in ein Sternrad ein, welches das Uhrwerk *A* hemmt. Hat der Lichtbogen eine gewisse Länge und einen bestimmten Widerstand erreicht, so wird der Elektromagnet *B* verstärkt, sein Anker *r* angezogen. Der letztere lässt das Sperr-Rad frei und das Uhrwerk tritt in Thätigkeit. Die Kohlen werden so weit genähert, bis der Lichtbogen seine normale Länge erreicht hat, wobei der Elektromagnet *B* genügend abgeschwächt wird, um den Anker *r* frei zu lassen, der nun das Sternrad wieder hemmt. Erlöscht der Lichtbogen zufällig oder findet der elektrische Strom die Kohlen anfangs nicht in Berührung, so ist der Weg durch den Elektromagnet *C* unterbrochen und der ganze Strom fliesst durch *B*. Der angezogene Anker *r* tritt aus dem Räderwerk zurück, womit dasselbe zur Bewegung frei wird und die Kohlen zusammentreibt, bis sie sich berühren.

Fig. 281.



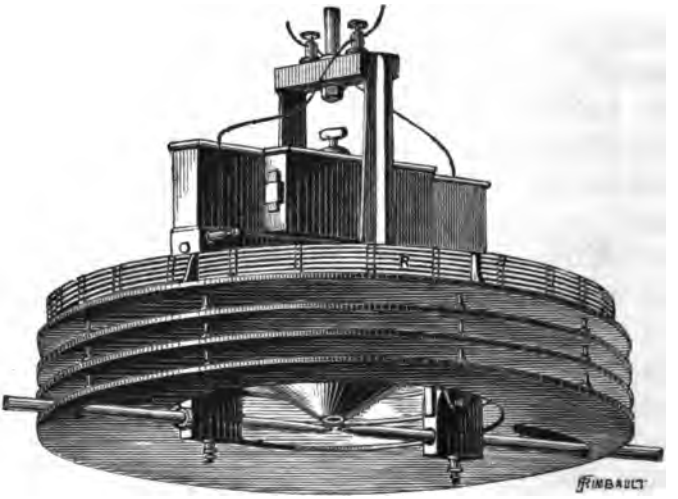
Führung der Kohlen in der Lampe von Mersanne.

Mersanne hat auch Lampen construirt mit vertical angeordneten Kohlenstäben. Zur Strassenbeleuchtung haben sie gute Resultate gegeben und werden gegenwärtig mit der

Digitized by Google

Lontin-Maschine in Paris zur Beleuchtung des Carrouselplatzes benutzt. Zur Beleuchtung von Innenräumen scheint das Licht nicht ruhig genug zu sein. Die perspectivische

Fig. 282.



Die Lampe von Mersanne mit Zonen-Reflector. (Ansicht.)

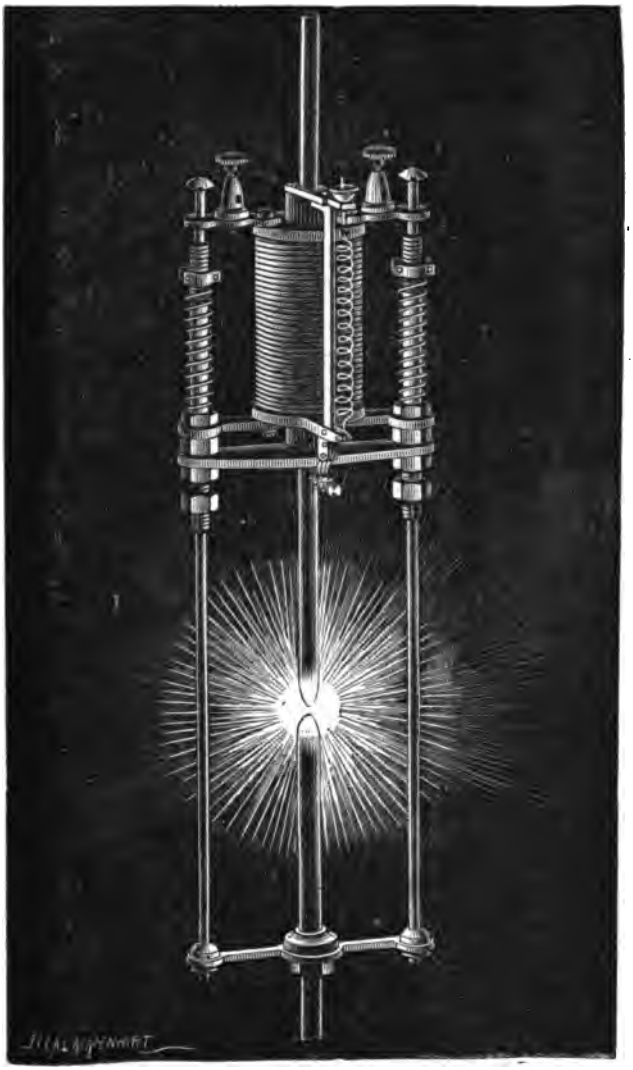
Ansicht Fig. 282 zeigt die Lampe mit einer Art Zonenreflector ausgerüstet, der gewöhnlich aus Metall hergestellt ist und welcher das Licht auf einen verhältnissmässig sehr weiten Raum zerstreuen soll.

117. Lampe von Gérard. In dieser Lampe geht die obere Kohle durch die Höhlung eines Elektromagnets, welcher oberhalb der Lampe placirt ist. Die Kohle bewegt sich durch ihr eigenes Gewicht nach abwärts. Eine Schraube, welche als Bremse dient und am Ende eines zweiarmigen Hebels befestigt ist, regulirt die Bewegung der Kohle, indem sie sich mehr oder weniger stark an dieselbe anpresst. Diese Wirkung der Schraube wird durch den mit dünnem Drahte bewickelten Elektromagnet hervorgebracht, der eine Nebenleitung zum Lichtbogen bildet.

Digitized by Google

Die obere Armatur des Elektromagnets steht mit einem Bremshebel in Verbindung und presst die Schraube mehr

Fig. 283.



Lampe von Gérard.

Digitized by Google

oder weniger stark an die Kohle, je nachdem sie mehr oder weniger stark vom Elektromagnet angezogen wird. Eine Spiralfeder dient zur Regulirung dieses Mechanismus. Wenn einmal der Lichtbogen erzeugt ist, so ist die beschriebene Einrichtung im Stande, durch zeitweiliges Nähern der oberen Kohle denselben zu erhalten. Die Lampe kann aber noch nicht selbst den Lichtbogen bilden. Zu diesem Zwecke dient eine zweite Armatur. Die untere Kohle ist nämlich an einem verticalen beweglichen Rahmen befestigt, dessen oberer Theil eine am untern Ende des Elektromagnets befindliche Armatur trägt. Dieser Rahmen wird nach abwärts gepresst durch zwei in der Figur 283 links und rechts sichtbare Spiralfedern. Wenn die Lampe nicht brennt, sind die Kohlen nicht in Contact, aber ihre Länge ist so bemessen, dass nur ein Zwischenraum von wenigen Millimetern sie trennt. Die Lampe wirkt nun auf folgende Weise: Wenn der Strom in dieselbe eintritt, sind die Kohlen von einander entfernt und er muss desshalb in seiner ganzen Stärke durch den feinen Draht des Elektromagnets fliessen. Dadurch wird dieser sehr stark und zieht die beiden Armaturen, sowohl die obere wie die untere, an. Die obere Armatur, welche auf die Bremsschraube wirkt, zieht dieselbe zurück, wobei die obere Kohle nach abwärts gleitet. Die untere Armatur hebt den Rahmen mit der unteren Kohle nach aufwärts. Die beiden Kohlen kommen zur Berührung, der Strom fliesst zum Theil durch die Kohlen und die Stärke des Elektromagnets wird bedeutend abgeschwächt. In Folge hiervon wird die untere Armatur durch die Spiralfedern wieder nach abwärts gepresst, wodurch sich die für den Lichtbogen nöthige Distanz zwischen den beiden Kohlen bildet. Auch die obere Armatur fällt ab und die Bremsschraube presst gegen die obere Kohle, um sie am Niedersteigen zu hindern. Wenn die Kohlen langsam abbrennen und sich der Lichtbogen verlängert,

Digitized by Google

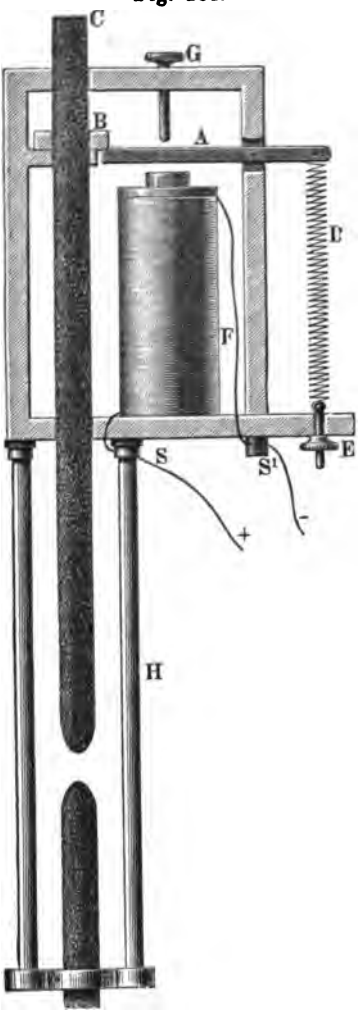
wächst sein Widerstand und es wird mehr Strom durch den Elektromagnet getrieben. Die Bremsschraube wird von Neuem abgezogen und erlaubt so den Kohlen, sich zu nähern.

Diese Lampe kann mit Wechselströmen wie mit gleichgerichteten Strömen betrieben werden. Ihr Mechanismus ist sehr einfach, aber es hat grosse Bedenken, in einer elektrischen Lampe Spiralfedern zur Regulirung des Hauptmechanismus zu verwenden, da dieselben sich sehr leicht erhitzen und dabei einen grossen Theil ihrer Elasticität einbüssen.

118. Die Lampe von Lever. Diese Lampe ist ganz neuen Datums, sie wurde erst am 3. Mai 1883 von *Chs. Lever* in Manchester patentirt und hat zum ersten Mal in der elektrischen Ausstellung im Krystallpalast zu London Aufsehen erregt, sowohl wegen ihres gleichmässigen Brennens als wegen ihrer höchst einfachen Construction. Ihre Einrichtung wird an Hand der Fig. 284 und 285 klar werden. Fig. 284 zeigt den Mechanismus derselben in schematischer Darstellung und Fig. 285 gibt eine Ansicht der Lampe. In denselben bedeutet *A* den Anker des Elektromagnets *F*, welcher in einer Nebenleitung zum Lichtbogen liegt. Der Anziehung des Elektromagnets wirkt die Spannung der Feder *D* entgegen. In der schematischen Zeichnung, Fig. 284, gleitet der Kohlenstab *C* durch den Ring *B*. Unmittelbar unter demselben befindet sich der Anker *A* des Elektromagnets. Der Mechanismus ist so regulirt, dass, wenn die Spule *F* stromlos ist, die Feder *D* den Anker *A* in die Höhe zieht, welche den Gleitring *B* mitnimmt und durch denselben die Kohle *C* festklemmt. Der Weg des Ankers ist durch die Stellschraube *G* begrenzt. Wenn die Lampe für den Gebrauch bereit ist, so sind die Kohlen durch die Wirkung der Feder *D*, welche den Anker *A* festhält, von einander entfernt.

Digitized by Google

Fig. 284.



Die Lampe von Lever. (Schematisch.)

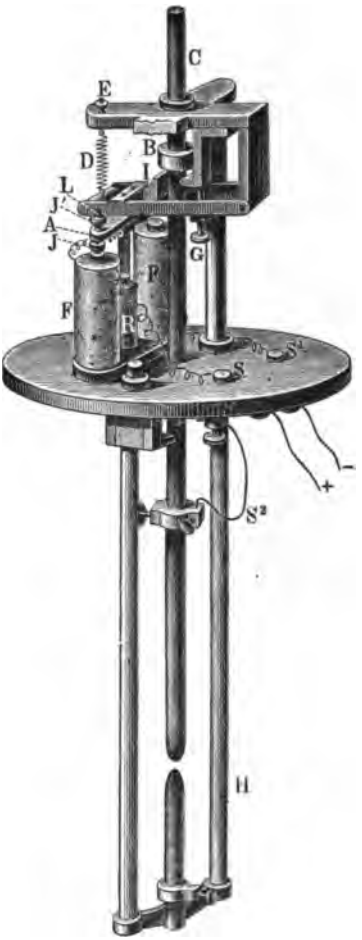
Diesen Umstand hat die Lampe mit der von *Lontin* modificirten Lampe *Serrin* gemein. Sobald die Lampe in den Stromkreis eingeschaltet wird, so wird der Anker *A* mit grosser Gewalt von dem Elektromagnet angezogen; der Gleitring *B* stellt sich horizontal und gestattet der oberen Kohle, in Folge ihrer Schwere zu sinken, bis sie auf die untere Kohle aufstösst. Sobald dieses geschieht, wird der Hauptkreis geschlossen; die Feder überwältigt den geschwächten Elektromagnet, der Anker bewegt sich aufwärts, klemmt die Kohle *C* fest und hebt sie noch ein kleines Stück in die Höhe, so dass sich ein Lichtbogen von bestimmter Länge bildet. Die Wirkung dauert so lange an, bis die Kohlen abgebrannt sind; dann wird der Elektromagnet in der Nebenleitung wieder stärker, zieht den Anker *A* abwärts und gestattet den Kohlen, sich wieder zu nähern.

Diese merkwürdig einfache Einrichtung gibt ein Licht von auffallender Ruhe und Beständigkeit. An Hand der eben gegebenen Erklärung wird auch die Ein-

Digitized by Google

richtung der Lampe, wie sie in Fig. 285 dargestellt ist und wie sie wirklich ausgeführt wird, verständlich sein. Es wirkt nicht der Anker *A* direct auf den Ring *B*, sondern um eine empfindliche Regulirung zu erhalten, ist der Anker *A* mit einem Hebel *L* verbunden. Dieser trägt einen Fortsatz *I*, welcher nun erst auf den Ring *B* wirkt. Mit der Schraube *G* kann die Länge des Lichtbogens regulirt werden, indem sie dem Ringe gestattet, mehr oder weniger tief zu fallen. *J* und J^1 sind eiserne Schrauben mit breiten Köpfen, durch welche die Lage der Pole von Elektromagnet und Anker gegenseitig genau regulirt werden kann. Der Strom tritt bei der positiven Polklemme *S* in die Lampe ein und theilt sich hier. Der Hauptstrom geht durch den biegsamen Draht S^2 in die obere Kohle, durch den Lichtbogen zur unteren Kohle und durch das Gestell der Lampe zu der negativen Polklemme S^1. Ein anderer Theil des Stromes geht durch den Elektromagnet *F* nach S^1.

Fig. 285.



Die Lampe von Lever. (Ansicht.)

Die Lampe *Lever* benutzt zur Regulirung weder ein Uhrwerk wie die Lampen von *Mersanne*, *Lontin* und *Gramme*,

Digitized by Google

noch eine Federspannung wie die Lampe von *Gérard*. Der ganze Regulirmechanismus besteht aus einem Ring, durch den die Kohle gleitet und der durch den Anker des Elektromagnets in mehr oder weniger schiefe Stellung gebracht werden kann. In dieser Beziehung ist die Lampe von *Lever* nichts anderes als eine mit Nebenschluss versehene Lampe von *Wallace*.

Die bezeichnete Verwendung des Ringes zur Regulirung des Lichtbogens finden wir später bei den Lampen von *Brush* und *Weston* wieder.

Wir wenden uns nun zu den

II. Differential-Lampen.

Das Princip derselben beruht im Wesentlichen darauf, dass man an die Stelle der Gewichts- oder Federkraft, welche der Kraftäusserung des elektrischen Stromes bei den Nebenschluss-Lampen und den Regulatoren entgegenwirkt, um die Länge des Lichtbogens unverändert zu erhalten, die Anziehung einer zweiten Drahtspule (Solenoids) oder eines Elektromagnets setzt, und diese von einem Zweigstrome durchlaufen lässt. Die Differential-Lampen haben thatsächlich dem auf elektrischem Gebiete rühmlichst bekannten Herrn *v. Hefner-Alteneck* die Einführung in die Praxis zu verdanken. Mochte auch, bevor *v. Hefner-Alteneck* seine Differential-Lampe in wirklich vollendeter Weise dem Publicum vorführte, eine andere Lampe, welche als Differential-Lampe betrachtet werden muss, existiren (§. 127), so war die letztere doch so unvollkommen und unfertig, dass die Interessenten gar keine Notiz von ihr nahmen, geschweige, dass die Lampe eine neue Epoche in der elektrischen Beleuchtung begründete. Ganz anders mit der *v. Hefner-Alteneck*'schen Differential-Lampe; kaum wurde sie bekannt, so ward das Wort „Differential-Lampe"

Digitized by Google

Losungswort aller Ingenieure; und es wurde dieselbe in sehr zahlreichen Fällen in einer Weise zur Installation verwerthet, dass die durch sie ermöglichte Theilung des elektrischen Lichtes in den meisten Fällen genügte und dazu ein schönes ruhiges Licht gewonnen wurde. Wir setzen daher auch an erste Stelle die

Fig. 286.

Die Differential-Lampe von v. Hefner-Alteneck.

119. Siemens-Halske's Differential-Lampe (System v. Hefner-Alteneck), welche in der Fig. 286 in fertig aptirter Weise, in Fig. 288 hingegen im Durchschnitt dargestellt ist.

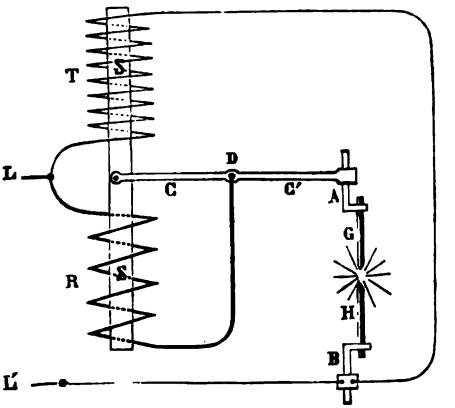
Die Einzelheiten der Lampe lassen sich nach diesem Princip, wie bereits aus den frühern Paragraphen ersichtlich ist, in sehr verschiedener Weise ausführen; wir geben in dem Nachstehenden nur diejenigen Mechanismen an, welche in der Differential-Lampe für die Praxis eine feste Gestalt angenommen haben.

In der schematischen Fig. 287 ist der Stromlauf und die Stromverzweigung für eine solche Lampe dargestellt. R ist eine hohle Rolle dickern Drahtes, T eine zweite, aus feinem Drahte und vielen Umwindungen bestehende ähnliche Spule von grossem Widerstande. In beiden Spulen befindet sich ein Eisenstab $S\,S$, welcher in seinem Mittelpuncte durch einen Hebel $C\,C'$ mit dem obern Kohlenhalter A verbunden ist, während der untere Kohlenhalter B fest steht.

Digitized by Google

Wie sich aus der Figur ergibt, verzweigt sich der aus der Leitung bei *L* in die Lampe eintretende Strom in zwei Zweige, von denen der eine durch die untere Spule mit dickerm Drahte und durch die beiden Kohlen bezw. durch

Fig. 287.



Stromverzweigung in der Differential-Lampe von Siemens-Halske.

den Lichtbogen, der andere durch die obere Spule mit dünnem Drahte unter Umgehung der Kohlen verläuft, so dass beide Zweige sich beim Austreten aus der Lampe wieder zu einer gemeinsamen Leitung vereinigen.

Die Stromstärke in diesen beiden Stromzweigen ist nach §. 25 umgekehrt proportional den Widerständen der Zweige und es erfolgt die Regulirung des Lichtbogens, da das ganze bewegliche System durchaus äquilibrirt ist, durch die alleinigen Wirkungen der beiden Spulen *R* und *T*, von denen die erstere den Eisenstab *S* stets nach unten, die andere entgegengesetzt stets nach oben zu ziehen strebt, mit anderen Worten, die Regulirung der Lampe erfolgt lediglich durch die Differentialwirkung der beiden elektrischen Zweigströme in den beiden Spulen.

Die Wirkungsweise dieser Ströme und Spulen ist nun

Digitized by Google

folgende: Der bei L eintretende Strom findet die Kohlenstäbe in beliebiger Stellung zu einander vor, z. B. weit von einander getrennt. In diesem Falle hat die obere dünndrähtige Spule T vollen Strom, da der andere, durch die dickdrähtige Spule R gehende Zweig an der Trennungsstelle der Kohlenstäbe unterbrochen ist. Die Spule T zieht also den Eisenstab S in sich hinein und bringt die Seite C' des um D drehbaren Hebels $C\,C'$ in ihre unterste Stellung. In dieser Lage löst sich der obere allein bewegliche Kohlenhalter A (wie sogleich näher wird gezeigt werden) von dem Hebelarm C' los und fällt gegen die untere Kohle herunter, wobei die Geschwindigkeit dieses Falles durch ein kleines Echappement mit Pendel gemässigt wird. In dem Momente, wo die Kohlen sich treffen, geht der grösste Theil des Stromes durch die Kohlen und die untere Spule R mit dickerm Drahte, während der Zweig, in welchem sich die dünndrähtige Spule T befindet, fast stromlos wird.

Durch die überwiegende Anziehung der unteren Spule wird der Stab S nach unten gezogen; es hebt sich der Hebelarm C' und es stellt sich sofort die vorher gelöste Verbindung zwischen dem Hebel C' und dem Kohlenhalter A wieder her; die Kohlenstäbe gehen auseinander und der Lichtbogen wird entzündet.

In Folge des in dem Stromkreise der Spule R hinzutretenden Widerstandes des Lichtbogens, welcher mit der Länge des Bogens zunimmt, wächst der Strom wieder in der dünndrähtigen Spule T, während er in R schwächer wird, bis bei einem bestimmten Widerstande des Bogens sich die von R und T auf S ausgeübten Anziehungen das Gleichgewicht halten. Es brennen nun die Kohlenstäbe langsam ab, aber die gleiche Bogenlänge stellt sich immer wieder her, indem die Gleichgewichtslage bei einer entsprechend höheren Stellung des Eisenstabes eintritt. Es steigt also dieser langsam in die Höhe, während der Hebel-

Digitized by Google

arm C' mit dem obern Kohlenhalter sich senkt. Ist der Hebelarm C' in seiner untersten Stellung angelangt, so löst sich seine feste Verbindung mit dem Kohlenhalter; derselbe fällt langsam herunter, jedoch nur sehr wenig, da die eintretende Verkürzung des Lichtbogens wieder das Aufwärtsgehen des Hebelarmes C' zur Folge hat und sich daher die Kuppelung zwischen ihm und dem obern Kohlenhalter wieder herstellt. Der Eisenstab spielt von nun an nahezu in seiner höchsten, der Hebelarm C' dem entsprechend nahe in seiner tiefsten Lage nur um ein Geringes auf- und abwärts, wobei in kurzen Intervallen die obere Kohle um so viel nachfällt, als zum Ausgleiche der Verbrennung der Kohlenstäbe nöthig ist. Wird durch irgend welchen Vorgang im Stromkreise ausserhalb der Lampe die Stromstärke verändert, so bringt dieses an sich in der Lampe keine Bewegung hervor, weil dabei die Stromstärken in beiden Zweigen um gleich viel ihrer früheren Stärke ab- oder zunehmen, also die einander entgegengesetzten Anziehungen auf S sich aufheben und das Gleichgewicht ungestört bleibt.

Für die Grösse des Widerstandes, auf welchen der Lichtbogen gebracht wird, ist das Verhältniss der Wirkungen von R und T auf S maassgebend. Dieselbe wird daher vorbestimmt durch geeignete Auswahl des Widerstandes und der Zahl der Umwindungen auf den beiden Spulen, oder indem man den Stab S in die eine der beiden Spulen mehr oder weniger eintauchen lässt. Zu diesem Zwecke kann die obere Spule in eine höhere oder tiefere Stellung gebracht und in derselben befestigt werden.

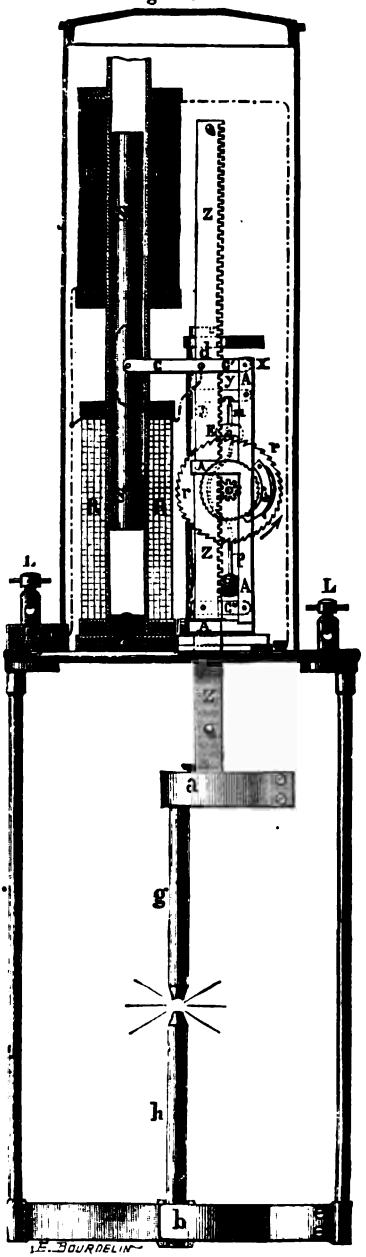
In Fig. 288 ist die Differential-Lampe im Durchschnitt dargestellt unter Weglassung der unwesentlicheren Theile. Man ersieht daraus, dass der Kohlenhalter a mit der ihn tragenden Zahnstange Z nicht unmittelbar an den um den festen Punct d drehbaren Hebel $c\,c'$ angehängt ist, wie dieses in der schematischen Fig. 287 angedeutet war. Die

Digitized by Google

Zahnstange Z hat vielmehr ihre Führung in dem Theile von A, welcher an dem Hebelende c' angehängt und durch eine Gelenkstange c'' an seinem untern Ende so geführt ist, dass er sich bei den Schwingungen von $c\,c'$ nur parallel mit sich auf und ab bewegen kann. Die Zahnstange kann an dem Theile A nur langsam abwärts gleiten, indem sie dabei das Steigrad r und das kleine Echappement E in Bewegung und dadurch das Pendel p mit seinem nach oben gehenden Arme in Schwingung setzen muss, welche Theile sämmtlich an dem Stücke A gelagert sind und mit ihm auf- und abwärts gehen.

In einer gehobenen Lage des Stückes A ist der Arm m durch eine Kerbe in dem kleinen Hebel y, welcher bei x gleichfalls an dem Stücke A gelagert ist, festgehalten und damit das Echappement arretirt und die Zahnstange mit dem Stücke A verkuppelt. Wenn aber das Stück A und damit der Hebel y sich seiner untersten

Fig. 288.



Diff.-Lampe von v. Hefner-Alteneck.

Digitized by Google

Stellung nähert, so wird der letztere durch einen am Gestelle festsitzenden Stift ausgehoben und das Echappement und damit die Zahnstange *Z* vom Stücke *A* frei, worauf in der bereits vorhin beschriebenen Weise die nöthige Nachschiebung der oberen Kohle sich bewerkstelligt.

Man sieht hieraus, dass auch bei der *Siemens-Halske*schen Anordnung der Zweigströme die Einschaltung mehrerer Lampen in einen einzigen Stromkreis zulässig ist, weil jede durch den Lichtbogen einer Lampe hervorgerufene mässige Stromschwankung ohne Einfluss auf die übrigen Lampen bleibt und jede Lampe unabhängig von den anderen ihren Lichtbogen auf eine genau gegebene, bestimmte Länge und Helligkeit einstellt. Sollte eine Lampe verlöschen, so wird diese mittelst eines besonderen Contactes sofort selbstthätig aus dem Stromkreise ausgeschlossen, ohne dass die Leitung unterbrochen wird.

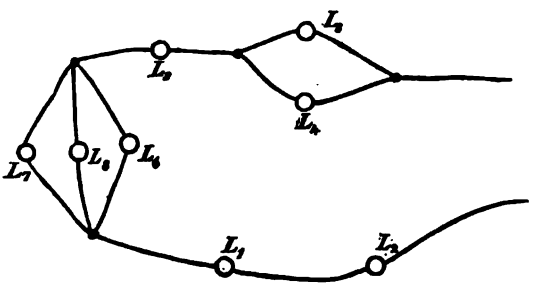
Derjenige Theil des Stromes, welcher durch die Nebenschlussspule mit dünnem Drahte läuft, geht wie bei den übrigen Lampen mit Stromverzweigung natürlich für die Lichtentwicklung verloren; doch ist dieser Verlust so ausserordentlich gering, dass er weder für das blosse Auge noch für das Photometer wahrnehmbar ist, wie denn auch der Unterbrechungsfunken, welchen der schwache Strom in der dünndrähtigen Spule erzeugt, sehr klein ist.

Die vorbeschriebene Construction der Differential-Lampe ist für die allgemeinen Beleuchtungszwecke bestimmt, und daher ist auch der Regulir-Mechanismus nach oben gelegt, so dass er nach unten keine Schatten wirft; aus demselben Grunde ist auch von der Erhaltung des Lichtbogens auf derselben Stelle des Raumes abgesehen. Indessen kann der Lampe durch eine einfache Vorrichtung ein constanter Focus gegeben werden. An die Stelle der unteren Kohlen-Elektrode tritt eine Hülse, welche die Elektrode in sich birgt. Eine Spiralfeder strebt die Kohle aus der Hülse herauszutreiben,

Digitized by Google

doch stösst die Kohle auf einen kupfernen Ring, dessen Durchmesser um weniges geringer ist als derjenige der Kohle. Es ist demnach klar, dass nur der angebrannte konische Theil der Kohle durch den Ring hindurchgeht. Die Lage des Ringes ist eine solche, dass der Focus sich am Ende des Hubes der Zahnstange befindet, welche desshalb auch statt einer 20cm langen Kohle eine solche von 40cm trägt. Die untere Kohle in der Hülse hat dieselbe Länge; die Lampe brennt daher acht Stunden. Es hat sich bereits gezeigt, dass der Kupferring unter der Einwirkung des

Fig. 289.



Zur Stromvertheilung.

elektrischen Lichtes nicht so stark leidet, als man wohl meinen möchte; übrigens kann er durch eine einfache Operation mit einem anderen Ringe ausgewechselt werden.[1]) Zum Betriebe der Differential-Lampe verwenden *Siemens & Halske* die in §. 71 beschriebene Wechselstrom-Maschine, hauptsächlich wegen ihrer grossen Dauerhaftigkeit und Sicherheit im Betriebe.[2]) Obgleich daher *Siemens & Halske* auf manchen Vortheil, den der Betrieb mit gleichgerichtetem Strome bei gewöhnlichen Beleuchtungszwecken bietet, verzichteten, haben

1) E. Z., Bd. I, p. 70, 86, 103.
2) Z. f. a. E. 1881, p. 73.

Digitized by Google

sie solche Erfolge mit den Differential-Lampen erzielt, dass zu Anfang des Jahres 1881 bereits ca. 1½ Tausend Lampen in Betrieb waren und allerseits lobende Anerkennung den Verdiensten der allbekannten Firma gespendet wurde. Uebrigens sei bemerkt, dass die Differential-Lampen auch mit gleichgerichteten Strömen gespeist werden können, und in kleineren Installationen gewöhnlich von der Trommelmaschine betrieben werden.

Verfügt man über eine Stromquelle von entsprechender Spannung, so kann man mehrere Lampen in denselben Stromkreis schalten; natürlich ist auch die Einschaltung von mehreren Lampen in verschiedenen von derselben Stromquelle ausgehenden Zweigleitungen oder parallel nebeneinander möglich. Man kann selbst beide Schaltungsmethoden gleichzeitig für die nämliche Stromquelle verwenden und dadurch die Möglichkeit gewinnen, in den verschiedenen Theilen des Netzes, entsprechend den in diesen Theilen vorhandenen verschiedenen Stromstärken, Lichter von sehr verschiedener Stärke zu erzeugen; so würden bei der durch Fig. 289 angedeuteten Schaltung die Lampen $L_1\ L_2\ L_3$ das hellste Licht, die Lampen $L_4\ L_5$ ein schwächeres und die Lampen $L_6\ L_7\ L_8$ das schwächste Licht geben. Die Anzahl der Lampen ist begrenzt durch die Spannung der gegebenen Maschine, auf deren Isolation stets zu achten ist; doch wurden schon 20 Lampen in einem Stromkreise betrieben, ohne dass ein Nachtheil hervorgetreten ist.

Photometrische Versuche in München ergaben, dass die Lichtstärke der ungedeckten Differential-Lampe 36 Gasflammen gleich komme; wurden zur Deckung des zu sehr blendenden Lichtes Alabasterkugeln (Fig. 286) angewendet, so ergaben sich Lichtverluste von 32—58 %, je nach der Dicke der Gläser und der Beschaffenheit der Glasmasse, so dass eine solche Lampe noch immer eine Lichtstärke von mindestens 18 bis 24 Gasflammen ergibt.

Digitized by Google

Nachdem einmal das System der Differential-Lampen erfunden war, fand dasselbe bald allgemeinen Anklang. Erst wurde es dazu verwendet, um die schon vorhandenen Regulatoren für Einzellichter und die Nebenschlusslampen in solche umzuwandeln, wo solches gut möglich war. Hierzu ist nur nöthig, die spannende Feder, welche bei diesen fast allgemein dem regulirenden Elektromagnet oder Solenoid entgegenwirkt, durch einen zweiten Elektromagnet oder ein Solenoid zu ersetzen. Um die

120. Lampe von Crompton (§. 104) zu einer Differential-Lampe zu machen, ersetzt man die Feder *l* durch einen kleinen Elektromagnet mit sehr feinem Draht und hohem Widerstand und verbindet die Drahtenden des letztern mit den Hauptleitungsdrähten da, wo sie in die Lampe eintreten und diese verlassen. Hierbei theilt sich der Strom in zwei Zweige, von denen der eine die eigentliche Leitung, der andere den Nebenschluss bildet; mag sich auch das Verhältniss der Stromstärken in den beiden Zweigen ändern, so hat der Strom doch beim Austritt aus der Lampe dieselbe Stärke wie beim Eintritt. Damit regulirt sich jede Lampe unabhängig von der anderen; ein hoher Bogenwiderstand lässt die Anziehung des obern kleineren Elektromagnets überwiegen, so dass das Stück *h* gehoben wird und die obere Kohle sinken kann; bei einem geringen Bogenwiderstand geht der Strom hauptsächlich durch den untern Elektromagnet, dessen Stärke die Platte *h* anzieht und somit den obern Kohlenhalter arretirt. Durch zahlreiche Versuche ist bereits constatirt, dass die *Crompton*'sche Lampe sehr gut arbeitet; es bewirkt zwar, wie schon erwähnt wurde, die Anwendung von Elektromagneten im Allgemeinen keine so ruhige und schöne Regulirung, wie sie durch Solenoide erfolgt; reducirt man aber, gleich *Crompton*, den Ankerhub auf ein Minimum, so reichen schon geringe Aenderungen des Verhältnisses, Stromstärke in der Hauptleitung zur Stromstärke im Neben-

Digitized by Google

schlusse, hin, um die Ankerstellung zu verändern. Wesentlich ist auch bei der *Crompton*'schen Lampe das geringe Gewicht des Stückes *h*, so dass die Lampe von den geringen Aenderungen der Stromstärke, wie sie beim Betrieb vorkommen, unabhängig und daher für getheiltes Licht verwendbar ist.

Crompton construirte auch zu seiner Lampe mehrere Laternen; Fig. 290 stellt eine solche dar, welche zum Aufhängen an den Raaen beim Verladen der Schiffe oder zur

Fig. 291.

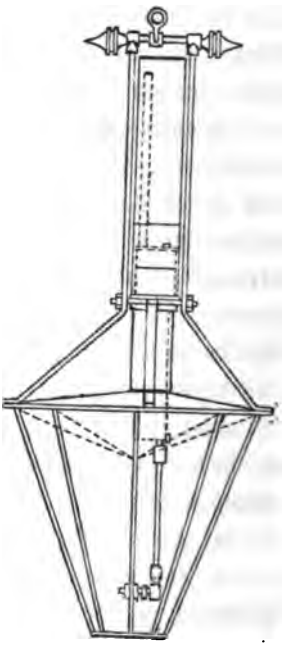
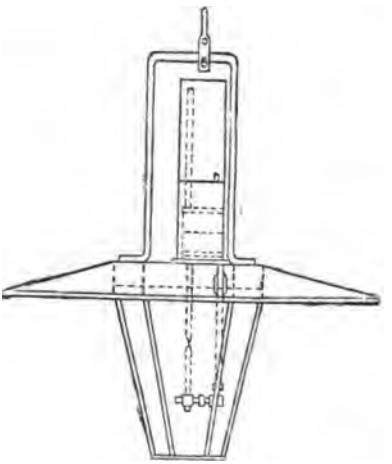


Fig. 290.



Crompton's Laternen.

Benutzung in den Schachten von Bergwerken geeignet ist; Fig. 291 zeigt eine grosse Laterne, wie sie bei der Beleuchtung der Halle der St. Enoch-Station in Glasgow benutzt wird. Diese besitzt einen achteckigen Reflector aus Spiegelglas, jene einen emaillirten weissen Reflector. Zahlreich sind

Digitized by Google

bereits die Installationen, welche *Crompton* mit der *Bürgin*'schen Maschine (Fig. 166) und seiner Lampe getroffen hat, und allerseits hört man über dieselben nur günstige Urtheile.[1]) Gleiches ist der Fall mit den Installationen, welche *Bürgin* mit den nach ihm benannten Maschinen und Lampen trifft. Sollen mehrere *Bürgin*'sche Lampen in einen Stromkreis geschaltet werden, so genügt eine kleine Aenderung mit der in §. 105 beschriebenen Lampe. Will man nämlich

121. Die Bürgin'sche Lampe zur Differentiallampe machen, so leite man die Drähte der Elektromagnete einfach so, dass der bei der + Klemme eintretende Strom sich in zwei Zweige theilt, von denen der eine zu den Umwindungsdrähten der Elektromagnete E und E_1, den beiden Kohlen und dann zur negativen Klemme, der andere aber nur zu dem Umwindungsdrahte des Ankers A und dann sofort wieder zur negativen Klemme führt. Auch muss die Spule des Ankers so in den Nebenschluss geschaltet sein, dass die gegenüberliegenden Pole der Elektromagnete und des Ankers gleichnamige sind, wenn ein Strom die Armatur A umfliesst, dessen Stärke hinreicht, den Kern magnetisch zu erregen. Dieses geschieht, wenn der Strom bei zu grossem Widerstande der Hauptleitung, d. h. zu grosser Weite des Lichtbogens, den Nebenschluss passiren muss. Andernfalls ist der Kern der Armatur fast unmagnetisch. Daher erklärt sich Folgendes.

Im Gewöhnlichen liegt der Anker A möglichst tief und die Kohlen berühren sich. Sowie daher die Lampe in einen Strom geschaltet wird, durchfliesst dieser hauptsächlich den die Elektromagnete E und E_1 fassenden Zweig und erregt diese so sehr, dass dieselben den Anker A emporziehen und dadurch auch die Kohlen von einander trennen. So lange der Lichtbogen eine normale Weite hat, sind die Elektromagnete E und E_1 stark genug erregt, den Anker A in

1) Vgl. L'Ingénieur 1881, Nr. 8, p. 149.

Digitized by Google

der Höhe zu halten, sowie aber der Lichtbogen an Grösse wächst und grössern Widerstand darbietet, wird der Strom in dem Hauptzweige ab- und derjenige in dem Nebenzweige zunehmen, so dass die Enden der Armatur A zu stärkeren Polen und daher von den gleichnamigen gegenüberliegenden Polen der Elektromagnete E und E_1 abgestossen werden. Somit sinkt die Armatur A und das Rad R; dieses, nicht mehr gebremst, folgt nunmehr der Bewegung des Kohlenhalters, welcher durch sein eigenes Gewicht und dasjenige der obern Kohle hinabgleitet. Dadurch nähern sich die beiden Kohlen; die Folge davon ist, dass die Stromstärke in dem Hauptzweige wieder zu- und diejenige in dem Nebenzweige abnimmt. Es ziehen wiederum die Elektromagnete E und E_1 die Armatur A und mit ihr das Rad R in die Höhe, welch' letzteres dadurch gebremst wird u. s. w. In dieser Weise functionirt die Lampe weiter; die Regulirung des Lichtbogens soll in sehr exacter Weise erfolgen, wodurch mehrere Lampen mit grösster Ruhe in demselben Stromkreise brennen können.

122. Die Lampe von Fontaine. Eine der ältesten Differential-Lampen ist der Regulator von *Fontaine*. Es scheint aber, dass *Fontaine* sich des Princips der Differential-Lampen nicht bewusst war, sondern nur die Absicht hatte, eine möglichst gut functionirende Lampe zu construiren. Allerdings ist ihm die Theilung des Lichtes mit seiner Lampe auch gelungen, indem 5 bis 6 Lampen im gleichen Stromkreis gespeist werden konnten; er schrieb aber dieses Resultat ausschliesslich der guten Regulirung der Lampe zu.

Sie ist speciell für die elektrische Beleuchtung grosser Plätze, von Hallen und grossen Fabrikräumen, überhaupt für solche industrielle Zwecke construirt, bei denen ein fixer Lichtbogen nicht erforderlich ist. Ihre wesentlichen Theile sind in Fig. 292 abgebildet.

Digitized by Google

Der Regulirungs-Mechanismus besteht aus drei Elektromagneten *A*, *B*, *C*, einem oscillirenden verlängerten Anker *D*, einigen durch das Uebergewicht des obern positiven Kohlenhalters in Bewegung zu setzenden Zahnrädern nebst Gesperre und einer auf den Anker von *C* wirkenden Spiralfeder *G*.

Die bei der rechtsseitigen Klemme in die Lampe eintretende Leitung verzweigt sich innerhalb derselben in drei Zweige. In einem dieser Zweige, der nicht durch den Lichtbogen geht, befindet sich der Elektromagnet *A*; der Elektromagnet *B* befindet sich dagegen in einem zweiten Zweige (punctirt gezeichnet), der den Lichtbogen passirt, während der Hauptzweig, der ebenfalls durch den Lichtbogen geht, den Elektromagnet *C* enthält.

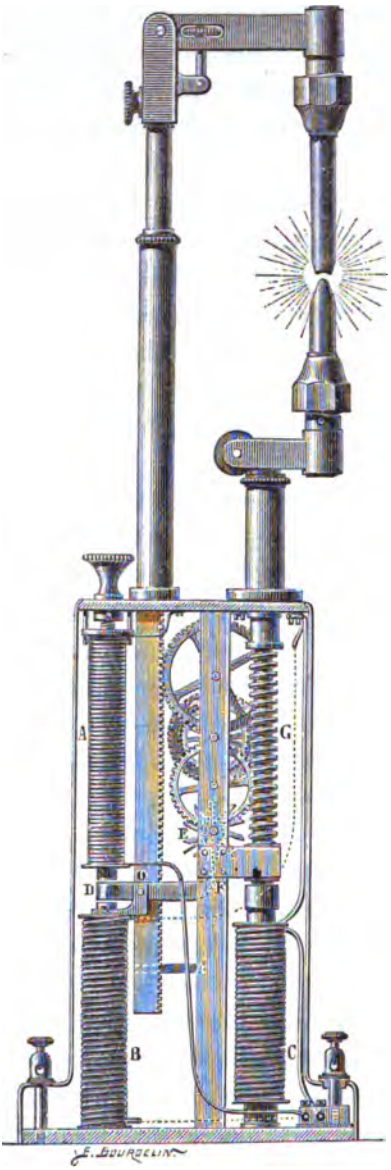
Der Anker von *C* ist mit dem untern Kohlenhalter fest verbunden und wird in der Ruhe durch die kräftige Spiralfeder *G* von dem Magnetpol entfernt gehalten. Kommt der Magnet *C* zur Wirkung, so wird der Anker an- und damit die untere negative Kohle herabgezogen; dabei ist die Feder *G* so kräftig, dass sie die obere Kohle vermittelst des Räderwerks mit in die Höhe hebt. Dieser Vorgang tritt ein, wenn sich die Kohlen während ihres Ganges berühren, und dient zur anfänglichen Erzeugung des Lichtbogens.

Der Ankerhebel *D* schwingt um die Achse *O*; er trägt einen kleinen Sperrzahn *F*, welcher die Bewegung des Windflügels hemmt, wenn die Anziehung von *B* die von *A* überwiegt.

Die untere (negative) Kohle hat, wie man sieht, nur die zur anfänglichen Bildung des Lichtbogens erforderliche kleine Bewegung; bleibt aber sonst während der Thätigkeit der Lampe stehen, so dass der Lichtbogen sich nicht an derselben Stelle des Raumes erhält, sondern nach und nach immer tiefer zu stehen kommt. Dieser Umstand ist jedoch

Digitized by Google

Fig. 292.



Regulator von Fontaine.

für die oben bezeichneten Zwecke der Beleuchtung nicht von Nachtheil, da das Herabsinken des Lichtes nicht über 8cm beträgt.

Bei dem ersten Eintreten eines Stromes in die Lampe geht, wenn die Kohlen sich noch nicht berühren, der Hauptstrom durch den Elektromagnet *A* und wegen des sehr grossen Widerstandes in dem punctirt gezeichneten Zweige nur ein kleiner Theil durch *B*. Der Anker *D* wird daher von *A* angezogen, der Sperrzahn *F* geht herunter und lässt das Räderwerk frei. Unter dem Uebergewichte des obern Kohlenhalters setzt sich letzteres in Bewegung und die Kohlen laufen bis zur Berührung zusammen.

In dem Augenblick, wo diese Berührung Statt findet, theilt sich der Strom zwischen *C*, *A* und *B*. Der Strom in *A* nimmt ab und *B* tritt in Wirksamkeit; der Anker *D*

Digitized by Google

fällt ab und wird von *B* herabgezogen; damit hebt sich der Sperrzahn *F* und hemmt die Bewegung der Räder und der Kohlen. Der Elektromagnet *C* tritt ebenfalls in Wirksamkeit, zieht den Anker und damit den untern Kohlenhalter um einige Millimeter herunter, so dass sich der Lichtbogen bilden kann. Ueberschreitet in Folge der Verbrennung der Kohlen der Lichtbogen eine bestimmte Grenze, so nimmt die Stärke des durch den Lichtbogen und durch *B* gehenden Stromes ab, während gleichzeitig die Stärkung des durch *A* gehenden Zweigstroms zunimmt, bis der Moment kommt, wo die Anziehung von *A* die von *B* überwiegt, der Zahn *F* wieder herabgeht und das Räderwerk wieder frei wird; der obere Kohlenhalter setzt nun dieses wieder in Bewegung und bringt die Kohlen wieder näher an einander. Aber eben hierdurch wächst wieder der durch *B* und den Lichtbogen gehende Zweigstrom, so dass die Anziehung von *B* die von *A* überwiegt, der Anker *D* von *B* angezogen, der Sperrzahn gehoben und das Laufwerk arretirt wird.

Die Regulirung der Lampe erfolgt dadurch, dass man mittelst einer auf dem obern Deckel angebrachten Schraube den Elektromagnet *A* mehr oder weniger dem zwischen *A* und *B* schwebenden Anker nähert.

Es ist klar, dass die Lampe von *Fontaine* zu den Differential-Lampen gehört. Die Regulirung kommt zu Stande durch die Differenzwirkung der beiden Spulen *A* und *B*, von denen *B* in der Hauptleitung, *A* in einer Nebenleitung zum Lichtbogen steht. Daneben haben wir allerdings noch eine dritte Spule *C*, welche beim Beginn des Brennens den Lichtbogen bilden muss, welche Function bei den neuen Lampen der Spule *B* übertragen ist.

In America wurde das Princip der Differential-Lampen zuerst verwendet von *Weston*.

Digitized by Google

123. **Die Weston-Lampe** ist durch die Figuren 293 bis 295 der Form und Construction nach dargestellt. Die Fig. 293 gibt eine äussere Ansicht der Lampe, Fig. 294 ein Bild des sehr interessanten, zur Regulirung dienenden

Fig. 293.

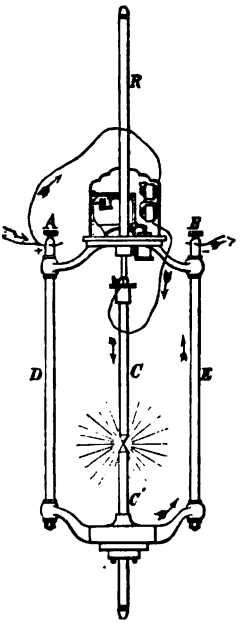
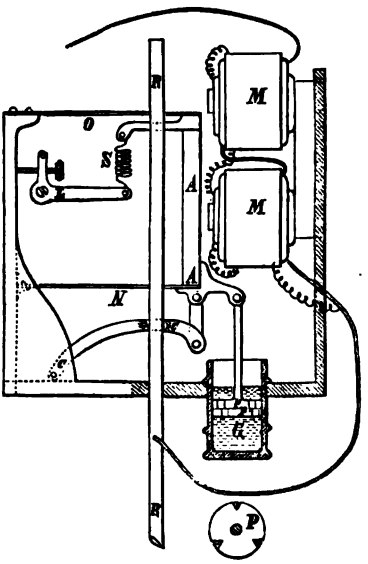


Fig. 294.



Stromlauf und Regulir-Mechanismus der Weston-Lampe.

Mechanismus, welcher in der kleinen Kapsel, in dem obern Theile der Fig. 293 enthalten ist. In der Fig. 293 bedeutet *R* den obern Kohlenhalter, welcher, wenn ein Strom die Lampe nicht durchfliesst. durch den ihn umfassenden Hebel frei hindurchgleiten kann und daher auf der untern Kohle aufliegt.

A A ist die Armatur zu einem Elektromagnet *M M*, sie wird von zwei parallelen flachen Stahlfedern *N* und *O* gehalten, welche mit dem Gestelle der Lampe fest verbunden sind. Die Fig. 294 zeigt, dass in der Ruhestellung das obere

Digitized by Google

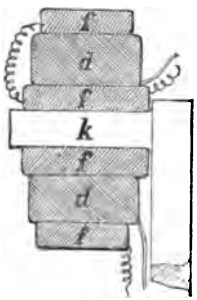
Ende der Armatur sich ein wenig unter dem obern Eisenkerne befindet. Circulirt also ein Strom durch den Elektromagnet *M M*, so zieht dieser die Armatur vertical aufwärts. Dadurch wird der mit letzterer durch ein Gelenk verbundene Hebel *C* ebenfalls in die Höhe gehoben und dieser zieht in Folge seiner eigenthümlichen Construction gleich dem Gleitringe in der *Lever*-Lampe bei einer bestimmten Lage den obern Kohlenhalter mit in die Höhe. *S* ist eine Feder, welche an ihrem obern Ende mit der Armatur, an ihrem untern Ende aber in einen Arm des gebogenen Hebels *L* eingehakt ist und deren Spannung durch eine in der Fig. 294 gezeichnete Schraube regulirt werden kann. Die Bewegung der Armatur wird also einerseits durch die nach oben gerichtete Anziehungskraft des Elektromagnets, andererseits durch die nach unten gerichtete Spannkraft der Feder bewirkt. Damit aber die Bewegung bei einer etwaigen zu plötzlichen oder heftigen Aenderung des magnetischen Momentes von *M M* nicht ruckweise geschieht, ist das untere Ende der Armatur an einer kleinen Kolbenstange mit Kolben befestigt, welcher in einen kleinen mit Glycerin gefüllten Cylinder eintaucht. Die dämpfende Wirkung des kleinen Apparates kann dadurch erfolgen, dass man dem Glycerin ermöglicht, mehr oder weniger rasch von der einen Seite des Kolbens auf die andere zu gelangen. Dazu ist der letztere aus zwei übereinander liegenden Scheiben verfertigt, von denen die eine mit der Kolbenstange fest verbunden, die andere aber etwas gedreht werden kann; beide Scheiben sind ferner an dem Rande dreimal eingekerbt, so dass die Kerben genau 120° von einander entfernt stehen. Durch die Stellung der beweglichen Scheibe zu der festen kann also die Schnelligkeit, mit welcher das Glycerin von der einen Seite auf die andere des Kolbens gelangen kann, mit grosser Genauigkeit regulirt werden, indem man die Einschnitte durch mehr

Digitized by Google

oder minder weites Uebereinanderschieben der Scheiben schliesst oder öffnet. Die Scheiben sind in Fig. 294 im Aufriss und im Grundriss gezeichnet.

Der Elektromagnet *MM* ist von eigenartiger Construction, da jeder Schenkel von nicht weniger als drei Spulen umgeben ist, diese aber nur zwei Leitungen bilden, welche von dem Strome in entgegengesetzter Richtung durchflossen werden, so dass nur die Differenz der Ströme magnetisirend auf die Eisenkerne einwirkt. Es erhellt nämlich, dass zwei einen Eisenkern in entgegengesetzter Richtung umkreisende Ströme die magnetisirende Wirkung eines jeden gegenseitig schwächen müssen, so dass Richtung und Intensität der Polarität davon abhängt, welcher der beiden Ströme stärker ist. Die genauere Anordnung des Differential-Elektromagnets zeigt die Fig. 295. Hiernach ist der Kern zunächst von einer Spule feinen Drahtes umgeben; darüber ist eine Spule aus dickem Drahte gewunden und über dieser befindet sich abermals eine Lage feinen Drahtes. Beide Kerne sind in dieser Weise umwickelt; dabei sind die beiden Spiralen aus dickem Drahte mit einander verbunden und bilden einen Theil der Hauptleitung, in welcher der Lichtbogen liegt, während die vier Spulen feinen Drahtes unter sich in Reihen verbunden sind und in einer Nebenleitung liegen. Die Verbindungen der Wicklungen sind so getroffen worden, dass beide Kerne in gleicher Weise von den Strömen umkreist werden; der Nebenstrom aber in dem dünnen Drahte die Kerne in entgegengesetzter Weise als der Hauptstrom in dem dicken Drahte umfliesst.

Fig. 295.



Construction des Differential-Magnets.

Fig. 293 veranschaulicht nun die allgemeine Anordnung der einzelnen Theile. Der Strom theilt sich bei *A* in zwei

Digitized by Google

Ströme. Der eine geht durch den dicken Draht der Magnetspiralen zu der obern Kohle, von da hinab durch die untere Kohle und durch den rechten Stab *E* zu dem Ende *B*; dieser Strom macht *M M* magnetisch, die Armatur wird gehoben und folglich werden die Kohlen von einander getrennt — es entsteht der Lichtbogen.

Gleichzeitig fliesst ein anderer Strom von *A* durch den feinen Draht zum Magnet *M M*, schwächt dessen Stärke und geht von da zu *B* hin.

Die Länge des Bogens hängt von der Kraft ab, mit welcher der Magnet den Zug der an der Armatur befestigten Feder *S* überwindet. Wenn nun durch irgend eine Ursache, z. B. dadurch, dass die Kohlen sich von einander entfernen, der Bogen an Länge und Widerstand zunimmt, so tritt ein grösserer Strom in die Nebenleitung; der Elektromagnet verliert an magnetischer Intensität, die Armatur sinkt so weit herab, dass der Hebel *C* die obere Kohle etwas sinken lässt. Sofort aber verkleinert sich dadurch der Widerstand der Hauptleitung, so dass wiederum der Hauptstrom an Stärke gewinnt und die Armatur soweit anzieht, dass ein weiteres Nachsinken der Kohle einstweilen nicht stattfindet.

Wird die Leitung durch irgend eine Ursache ganz unterbrochen, so sinkt die Armatur ganz herab, bringt die Kohlen mit einander in Berührung und stellt den Strom her.

Alle diese Operationen erfolgen bei der Lampe mit grösster Schnelligkeit und Leichtigkeit auf einander; das Ergebniss ist ein ausnahmsweise ruhiges und schönes Licht.

Die Lampe *Weston* fand zu Paris grossen Beifall und kämpft in America mit der *Brush*-Lampe um die Herrschaft.

Fig. 296 zeigt die äussere Ansicht und die Fig. 297, 298, 299 die innere Construction des Regulir-Mechanismus der

Digitized by Google

Fig. 296.

Doppel-Lampe von Weston.

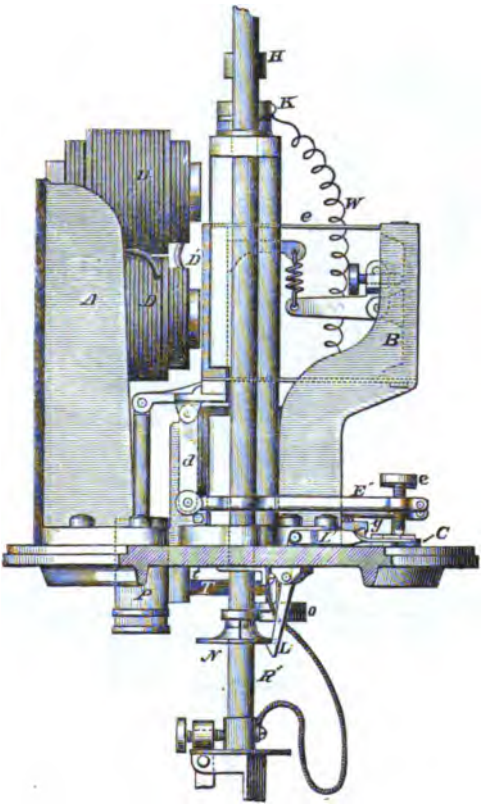
124. Doppel-Lampe von Weston mit zwei Kohlenhaltern für lange Brenndauer. Es ist nur ein einziger Elektromagnet *D* vorhanden, der in derselben Weise wie bei der einfachen Lampe mit drei verschiedenen Wicklungen versehen ist. Das untere Ende des dicken Drahtes ist mit einem Umschalthebel *C* verbunden und der Strom wird von der ersten zur zweiten Kohle im passenden Moment durch den Elektromagnet *M*, welcher in einer Nebenleitung von hohem Widerstande liegt, übergeleitet. Der Umschalthebel *C* trägt zu diesem Zwecke zwei Contactstücke *h h'*, welche mit den Gleitstangen *E E'*, durch welche die Kohlen geführt werden, vermittelst der Contactschrauben *e e'*, Contact machen können.

Während das erste Paar von Kohlen brennt, ist der Kreis, in welchem der Elektromagnet liegt, offen; die obere Kohle *R'* des zweiten Paares wird

Digitized by Google

durch den Haken *L* gehalten und der Umschalthebel *C* ist durch den Haken *g*, welcher mit der Armatur des Elektromagnets *M* verbunden ist, so gestellt, dass an die erste Schraube *c* angepresst und daher der Strom durch das erste Kohlenpaar geführt wird. Wenn das erste Kohlenpaar abgebrannt ist, so wird der Stromkreis, in

Fig. 297.



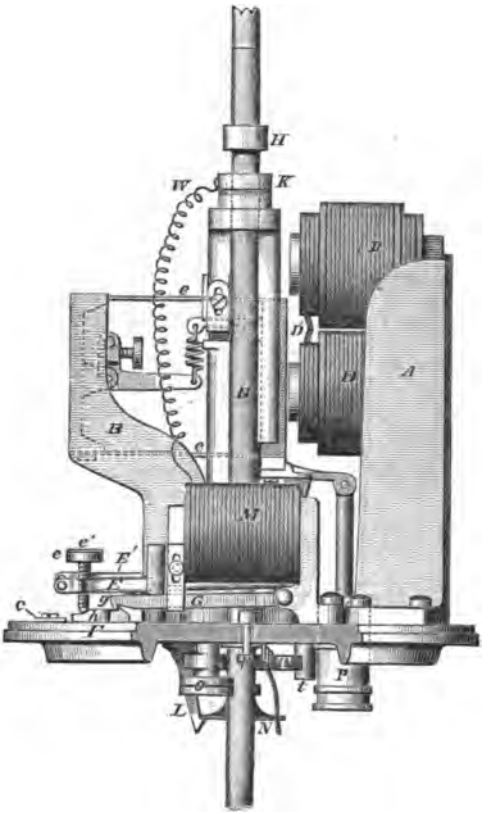
Doppel-Lampe von Weston. (Seitenansicht.)

welchem *M* liegt, geschlossen, indem ein Ansatz *H* an der Führungsstange *R* der Kohle mit dem Ringe *K* Contact macht, von welchem ein Draht zum Elektromagnet *M*

Digitized by Google

führt. In diesem Moment zieht derselbe seinen Anker *G* an; dadurch wird die Hemmung von *C* losgelöst und durch die Feder *s* der Hebel *C* an den Vorsprung *C'* (Fig. 299) angepresst. Der Contact *h E* mit der ersten Kohle wird gelöst und der Contact *h' E'* mit

Fig. 298.



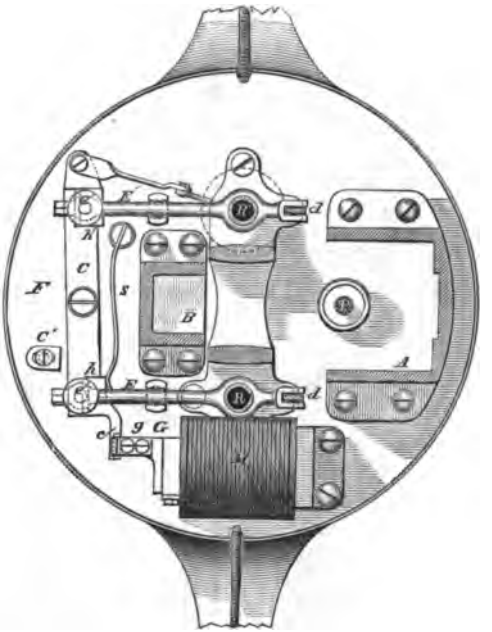
Weston's Doppel-Lampe. (Seitenansicht.)

der zweiten Kohle hergestellt. Durch dieselbe Bewegung wird vermittelst des Schiebers *L'* (Fig. 297), der mit *C* gekuppelt ist, der Haken *L* gelöst; die Kohle *H'* wird frei und sinkt so lange, bis sie auf die untere Kohle auf-

Digitized by Google

stösst. In diesem Moment ist der Kreis durch das zweite Kohlenpaar geschlossen und die Lampe fängt wieder an,

Figur 299.



Weston's Doppel-Lampe. (Grundriss.)

sich zu reguliren und zu brennen wie eine einfache Lampe. Diese Auswechslung geschieht so rasch, dass kaum ein Flackern des Lichtbogens merkbar ist.

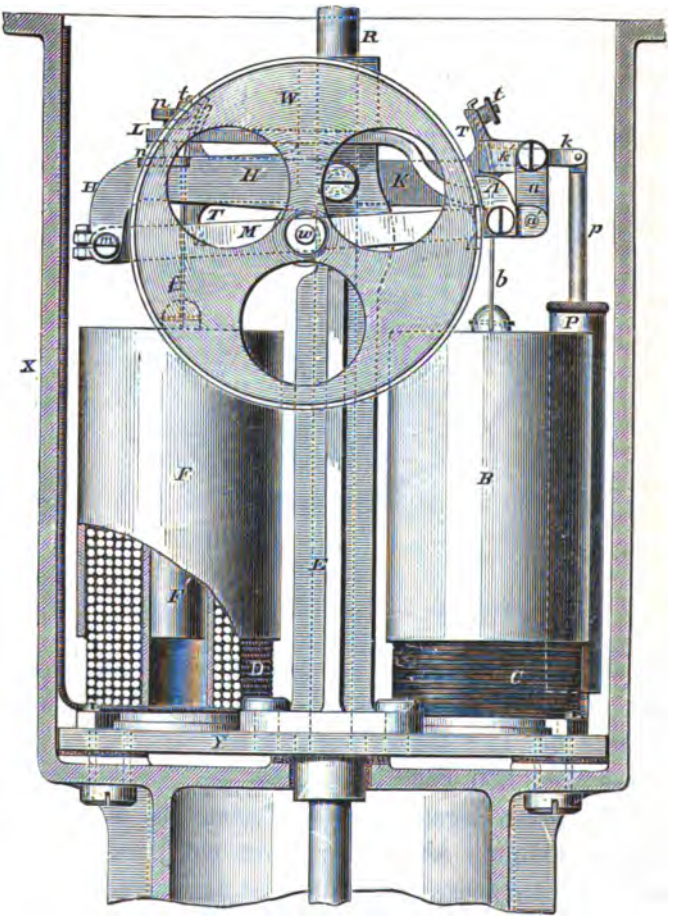
Die Fig. 300 und 301 zeigen die Construction einer

125. Neuen Bogenlampe von Weston. Bei diesen Lampen wird die Führung der Kohlen durch ein Bremsrad *W* besorgt; mit der Achse *w* desselben ist der obere Kohlenträger entweder durch eine Schnur und eine Rolle oder eine Zahnstange verbunden, so dass sich die Kohle nicht bewegen kann, ohne diese Achse *w* zu drehen. Das Lager derselben liegt im Hebel *M*, welcher um den festen Punct *m* drehbar und an seinem andern Ende durch ein Gelenk *a* mit dem Waage-

Digitized by Google

balken *K* verbunden ist. An diesem Waagebalken *K* hängen an zwei metallischen Bändern *f* und *b* Eisencylinder, welche in die Höhlungen der Solenoide *F* und *B* tauchen. Die

Fig. 300.



Weston's neue Bogenlampe. (Vorderansicht.)

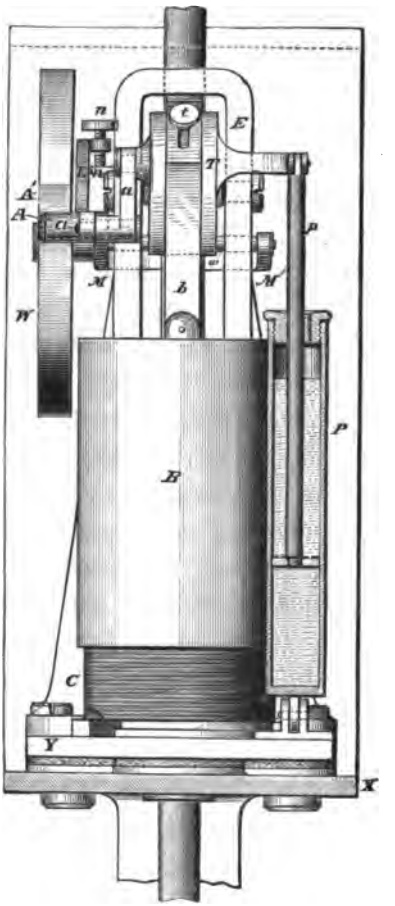
Windungen des einen dieser Solenoide *F* bestehen aus dickem Drahte und liegen im Hauptstromkreise; diejenigen des andern *B* in einer Nebenleitung zum Lichtbogen. Durch

Digitized by Google

die Schwere der Kohle wird die Achse *w* mit dem Rade *W* in der Richtung nach rechts zu drehen gesucht. Sie wird an dieser Bewegung verhindert durch das Bremsstück *A*, welches der Waagebalken *K* an dieselbe andrückt.

Setzen wir voraus, dass zu Anfang die Kohlen sich berühren. Ein in die Lampe eintretender Strom wird zum grossen Theil durch die Hauptleitung fliessen. Dadurch gelangt das Solenoid *F* zum Uebergewicht und zieht den Waagebalken *K* nach seiner Seite. An dem Hebel *M* ist eine Verlängerungsstange *L* bei *A* befestigt. Das äussere Ende derselben trägt eine Stellschraube *n*, welche auf das feste Widerlager *n'* aufstösst, wenn der Hebel *M* sich nach aufwärts bewegt. Sobald dies geschieht, so wird durch die Bewegung des Waagebalkens *K* die Bremse *A* an das Rad *W* angepresst und das letztere mit der ersteren von rechts nach links gedreht. Durch diese Bewegung werden die Kohlen von einander entfernt und der Lichtbogen ist gebildet. Sofort nimmt der Widerstand in der Hauptleitung

Fig. 301.



Weston's neue Bogenlampe. (Seitenansicht.)

Digitized by Google

zu, das Solenoid *B* kommt zur Geltung und es bildet sich ein Gleichgewichtszustand, in welchem die Pressung der Bremse gegen das Wellrad *W* eben ausreicht, dasselbe in Ruhe zu halten. Bei Verlängerung des Lichtbogens erlangt das Solenoid *C* das Uebergewicht; durch die Bewegung des Waagebalkens *K* wird die Bremse *A* von dem Rade *W* entfernt und das letztere gestattet der Kohle eine langsame Bewegung nach abwärts, bis der normale Lichtbogen wieder hergestellt ist.

126. Lampe von Brush. Die grösste Verbreitung von allen Lampen hat bis jetzt diejenige des Americaners *Brush* gefunden. Wenn schon dieselbe, was Ausführung und Leistungsfähigkeit betrifft, unter die besten Lampen gerechnet werden muss, so verdankt sie ihre beispiellose Verbreitung doch hauptsächlich der geschickten und andauernden commerciellen Thätigkeit der Gesellschaften, welche dieselbe bei ihrem Beleuchtungs-Systeme anwenden.

Ursprünglich wurde diese Lampe als Nebenschlusslampe gebaut; gegenwärtig wird sie aber immer mit Differentialspule versehen und desshalb reihen wir sie ebenfalls hier ein.

Ein vielfach verbreitetes Modell der Lampe ist in der Fig. 302 abgebildet; die Fig. 303 zeigt nur den eigentlichen Mechanismus der Lampe, welcher, wie auch das Modell sonst beschaffen sein mochte, seither stets derselbe war.

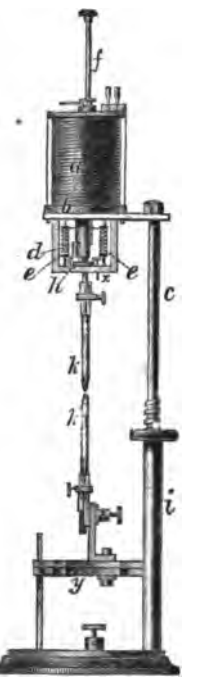
Die mit einem Schraubengewinde versehene Metallstange *c*, welche je nach der Länge der zu verwendenden Kohle mehr oder weniger tief in die Säule *i* hineingeschraubt werden kann, trägt die isolirte Platte *b*, an welcher nach oben die Spule *a*, nach unten das übrige Regulir-Werk sitzt. Der schmiedeeisernen, von stellbaren Federn *e* getragenen Hülse *d* (Fig. 303) ist hiernach nur eine verticale Bewegung gestattet; an der Hülse sitzt ein kleiner Haken *g*, welcher unter den Frictionsring *h* von Messing greift.

Digitized by Google

Letzerer umfasst mit ein wenig Spielraum die Messingstange *f*, welche als oberer Kohlenhalter dient und mitten durch die Hülse frei hindurchgeht, die selbst wiederum im Innern der Spule *a* hin und her gleiten kann. Die Aufwärtsbewegung der Scheibe *h* ist durch die Schraube *x* begrenzt, welche nach Bedarf höher oder tiefer gestellt werden kann. Solches ist auch mit dem untern Kohlenhalter möglich, welcher isolirt auf dem Arme *y* angebracht ist.

Die Spule *a* besteht aus zwei Solenoiden. Das innere, vom Hauptstrome durchflossene Solenoid ist aus mehreren Schichten dicken Drahtes (*s*) gebildet. Ueber diesen ist eine weit grössere Länge dünnen Drahtes (s_1) gewunden, dessen Enden derart mit den äussersten Enden der Lampe verbunden sind, dass der den dünnen Draht durchfliessende Zweigstrom eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung hat. Das magnetische Moment des äussern Solenoids ist in Folge der zahlreichen Windungen trotz der geringen Strommenge (etwa 1 %, bei 450 *Ohm* Widerstand des Nebenschlusses und 4½ *Ohm* des Hauptschlusses) noch immerhin bedeutend, allerdings geringer als dasjenige des innern Solenoids.

Fig. 302.



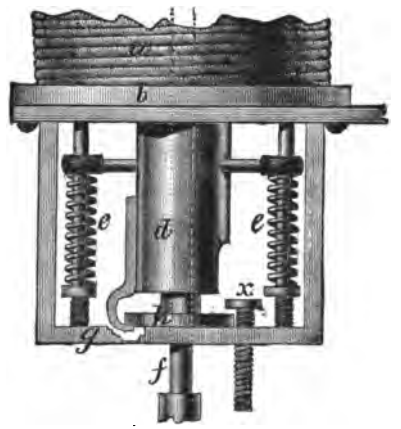
Lampe von Brush.

Aus der Verschiedenheit der Stromrichtungen in den beiden Solenoiden folgt, dass das magnetische Moment des äussern Solenoids dasjenige des innern schwächt, so dass die Differenz derselben auf den regulirenden Körper einwirkt. Von der Grösse dieser Differenz hängt es demnach ab, ob die Hülse *d* und Stange *f* im Gleichgewicht sind oder nicht. Dass dieses Gleichgewicht bei normaler Weite

Digitized by Google

des Lichtbogens stattfindet, kann durch Abänderung der Anzahl der Windungen und der Widerstandsgrösse der Drähte s und s_1 praktisch erreicht werden; alsdann wird bei zu grossem Lichtbogen bezw. einer kleineren Differenz die Hülse und Stange f so weit sinken, bis der Lichtbogen die richtige Weite wieder erlangt hat.

Fig. 303.



Regulir-Mechanismus der Brush'schen Lampe.

Betrachten wir indessen diesen Vorgang genauer. Sobald ein genügend starker Strom die Lampe durchfliesst, also von der Zuführungsklemme an der Grundplatte durch i, c, a, f, k und k_1 zu der Abführungsklemme fliesst, wird die Hülse d in die Spule a hineingezogen und dadurch der Frictionsring h einseitig empor gehoben. Letzterer ergreift daher die Stange f und trennt somit die Kohlen von einander, welche, wenn die Lampe nicht thätig ist, einander berühren. Es entfaltet sich der Lichtbogen; die anziehende Kraft der Spule a reicht trotz des grössern Widerstandes in der Hauptleitung noch hin, Hülse und Kohlenhalter zu tragen. In dem Maasse aber, wie die Kohlen abbrennen, vermindert sich die anziehende Kraft der Spule; Hülse und

Digitized by Google

Stange bewegen sich allmählich nach unten, indem sie dabei nur eine richtige Trennung der Kohlen unterhalten. Berührt schliesslich der Frictionsring *h* den Boden, von dem er anfänglich emporgehoben wurde, so wird eine weiter abwärts gehende Bewegung die Stange *f* losmachen und ihr erlauben, durch den Frictionsring so lange zu gleiten, bis letzterer in Folge des verkürzten Bogens wiederum gehoben wird und den Kohlenhalter klemmt. In fortgesetzter Thätigkeit ist also die normale Stellung des Frictionsringes die, dass der Ring seine Unterlage stets berührt und zu ihr in der Weise sich bewegt, wie die Platte *h* zum Elektromagnet in der *Crompton*'schen Lampe, wodurch ein ruhiges Nachgleiten der Kohle bedingt ist. Sollte jedoch die Stange *f* zufällig zu weit gleiten, so wird sie augenblicklich und automatisch gehoben werden wie zu Beginn, so dass die Kohlenspitzen wieder getrennt sind.

Jüngst hat die *Brush*'sche Lampe wesentliche Abänderungen erfahren. Der positive Kohlenhalter geht nicht mehr durch das Solenoid, sondern daran vorbei; ferner ist der obere Theil desselben hohl und mit Glycerin gefüllt, und in denselben ist ein in einer Hülse aufgehängter Kolben eingesenkt, wodurch die Bewegung des Kohlenhalters eine sehr gleichmässige und ruhige wird. Uebrigens erfolgt dieselbe durch einen Frictionsring so ziemlich in ähnlicher Weise, wie sie bei der *Weston*'schen Lampe erörtert wurde: Die Bewegung des Ringes wird regulirt durch diejenige des Ankers des Solenoids, welche letztere durch einen Luftcylinder verlangsamt wird.

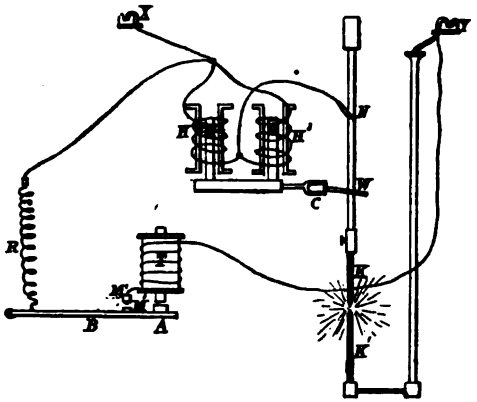
Das Schema dieser neuen Construction deutet Fig. 304 an.

X Y sind die zwei Polklemmen der Lampe für die Drähte, welche nach der Maschine führen. Der Strom tritt bei *X* in die Lampe ein und durchfliesst die beiden Solenoide *H* und *H'*, welche parallel neben einander geschaltet sind und gelangt von da in den oberen Kohlen-

Digitized by Google

halter N. Wenn beide Kohlen sich berühren, fliesst der Strom durch dieselben und gelangt durch die verticalen Stützen der Lampe zur Klemme Y. Die Zeichnung ist nur flüchtig skizzirt. Die Solenoide H, H' enthalten neben den Windungen dicken Drahtes der Hauptleitung noch dünnen Draht, der als Nebenleitung zur Lampe von der Klemme X direct zur Klemme Y führt. Der Strom durchfliesst die beiden Wicklungen im entgegengesetzten Sinne, so dass wir eine Differentialspule vor uns haben.

Fig. 304.



Schema der neuen Brush-Lampe.

In diese hohlen Solenoide tauchen zwei Eisenstücke N und S, welche mehr oder weniger stark in jene hereingezogen werden. Die Eisenstücke sind an einem gemeinsamen Anker befestigt, der die Gabel C trägt, in welcher der Frictionsring W liegt, durch denselben gleitet der obere Kohlenhalter K.

Ist die Lampe stromlos, so steht der Ring W horizontal und erlaubt der obern Kohle, abwärts zu gleiten, bis sie auf die untere Kohle aufstösst. Tritt nun ein Strom in die Lampe, so werden die Kerne NS sammt der Gabel C mit grosser Gewalt in die Solenoide resp. in die Höhe gezogen,

Digitized by Google

der Ring *W* klemmt die Kohle fest und hebt sie ein kleines Stück aufwärts. Dadurch bildet sich der Lichtbogen. Die Kohle wird nur so lange festgehalten, bis durch Verlängerung des Lichtbogens der Strom im Hauptkreis etwas abgeschwächt worden ist, worauf die Kerne aus dem Solenoid etwas zurücktreten und der Ring *W* die Kohle abwärts gleiten lässt, worauf die letztere von neuem festgeklemmt wird.

Sollten bei dem Betriebe mehrerer Lampen in einem Stromkreise an einer derselben die Kohlen abbrennen, so würde die Leitung zwar durch das dünndrähtige Solenoid geschlossen, der Strom jedoch in Folge des grossen Widerstandes so geschwächt sein, dass die übrigen Lampen schlecht brennen würden. Ausserdem würde der dünne Draht der Erhitzung und Schmelzung ausgesetzt sein. Es ist desshalb an der Lampe ein besonderer Contact angebracht, welcher beim Verlöschen einer Lampe diese selbstthätig aus dem Stromkreise ausschliesst, ohne die Leitung zu unterbrechen.

Die Ausschalte-Vorrichtung besteht in einem kleinen Elektromagnet *T* (Fig. 304), dessen Draht von dem Zweigstrome des Nebenschlusses durchflossen wird (in Fig. 304 nicht gezeichnet). Dieser ist aber, so lange die Lampe normal arbeitet, nicht stark genug, den Elektromagnet zu sättigen, thut dieses vielmehr erst dann, sobald der Hauptstrom unterbrochen und somit der Zweigstrom sehr gestärkt wird. Dann aber zieht der Elektromagnet eine Armatur *A* an und schliesst damit durch den Contact *M* eine Leitung dickeren Drahtes (*R*), durch den der Strom in der Lampe frei wegfliessen kann. Durch den Hülfsschluss wird natürlich die Stromstärke des Nebenschlusses reducirt; dennoch hält der Elektromagnet die gedachte Armatur fest, da derselbe nicht nur von dem dünnen Drahte, sondern auch dem dicken Drahte *H* in gleicher Weise umwunden ist, so dass beide Ströme den Magnetismus verstärken. Sind neue Kohlen in die Lampe gefügt, so geht

Digitized by Google

augenblicklich ein bedeutender Theil des Stromes durch die Hauptleitung selbst, wodurch die beiden anderen Ströme so geschwächt werden, dass der Elektromagnet seine Armatur fallen lässt; hiermit ist der Hülfsschluss ausgeschaltet.

Fig. 305.

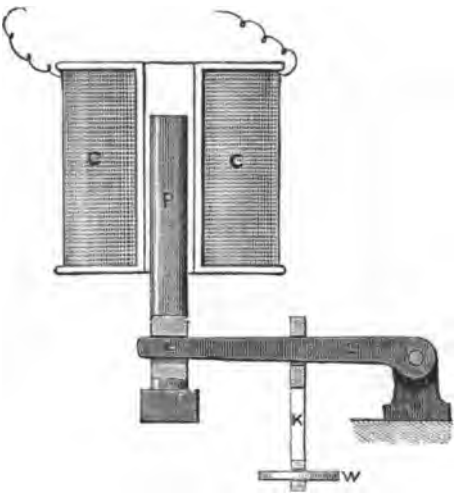
Brush-Lampe. (Ansicht.)

Die Kohlen, welche *Brush* verwendet, sind mit einer dünnen Schicht Kupfers bedeckt und 12 Zoll englisch lang. Sie brennen ohne Erneuerung ungefähr acht Stunden, während welcher Zeit 9½ Zoll der positiven und 4 Zoll der negativen Kohle consumirt werden. Für den Fall, dass eine Lampe länger als 8 Stunden brennen soll, werden von *Brush* sogenannte Doppel-Lampen construirt, in welchen, wenn ein Paar Kohlen abgenutzt ist, von selbst ein zweites den Lichtbogen entfaltet. Die Auswechslung des einen Kohlenpaares durch das andere wird auf höchst einfache Weise bewerkstelligt mit Hülfe einer kleinen Modification der gewöhnlichen Lampe, die die Figuren 306 und 307 veranschaulichen. *C C* ist das Solenoid mit den Windungen von dickem und dünnem Drahte; in dasselbe

Digitized by Google

taucht der Kolben P von weichem Eisen. Beim Steigen oder Fallen desselben wird der am Hebel L befestigte Rahmen K gehoben oder gesenkt. R^1 und R^2 sind die Kohlenhalter und W^1 und W^2 die Frictionsringe, die erstere umschliessen. Die inneren Seiten der letzteren liegen in Gabeln des Rahmens K, und das Wesentliche ist nun, dass die eine dieser Gabeln etwas höher ist als die andere.

Fig. 306.



Die Umschaltung in der Doppel-Lampe von Brush.

In der Ruhestellung berühren sich beide Kohlenpaare. Wird nun ein Strom in die Lampe geleitet, so wird der Hebel mit dem Rahmen K aufwärts bewegt, die Kohlenhalter werden in die schief gestellten Frictionsringe festgeklemmt und gezwungen, der Bewegung nach aufwärts zu folgen.

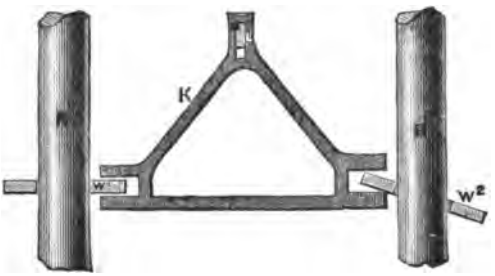
Bei dieser Bewegung wird der Kohlenhalter R^2 höher gehoben, weil die Gabel rechts etwas höher liegt; es wird also zuerst das Kohlenpaar rechts getrennt und der Strom durchfliesst noch das links liegende Paar. Einen Augenblick später wird auch dieses getrennt und es bildet sich nun der Lichtbogen zwischen demselben, da der Strom

Digitized by Google

keinen anderen Weg mehr hat, und die Lampe regulirt sich gerade so wie eine einfache Lampe. Dabei bleibt immer der Kohlenhalter rechts festgeklemmt.

Der Halter der brennenden Kohle trägt einen Knopf. Nach einer gewissen Zeit hat sich derselbe soweit gesenkt, dass der Knopf auf die Führung aufstösst. Ein weiteres Sinken ist dadurch unmöglich gemacht. Wenn jetzt bei immer länger werdendem Lichtbogen die Wirkung des Solenoids auf den Eisenkern immer schwächer wird, so senkt sich der Rahmen K immer mehr, bis zuletzt auch der Frictionsring W^2 in eine horizontale Lage kommt und den Kohlenhalter R^2 frei lässt. Dieser gleitet abwärts, bis er auf die untere Kohlenspitze aufstösst; der neue Stromkreis

Fig. 307.



Die Umschaltung in der Doppel-Lampe von Brush.

ist hergestellt, der erste Lichtbogen erlischt aus Mangel an Strom, der neue Lichtbogen bildet sich und die Regulirung beginnt wie bei der einfachen Lampe. Eine solche Doppel-Lampe brennt 16 Stunden lang. Um eine Lampe zu erhalten, die 24 Stunden lang brennt, ist nur nöthig, auf ähnliche Weise ein drittes Paar Kohlen zuzufügen.

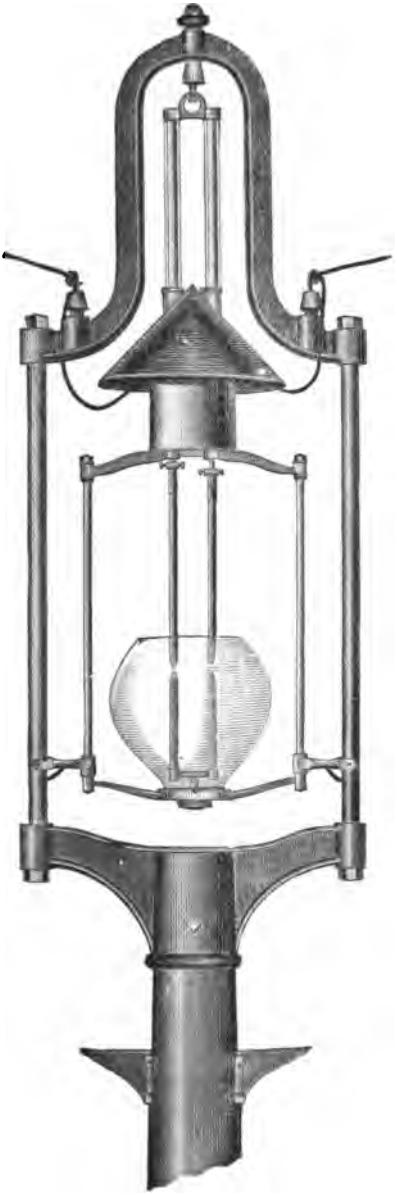
Fig. 308 zeigt die äussere Form einer Doppel-Lampe, wie sie für Strassenbeleuchtung benutzt wird; und Fig. 309 eine ebensolche, decorativ ausgestattet; der ganze Regulir-Mechanismus ist in einer vernickelten Blechbüchse eingeschlossen.

Digitized by Google

Wie schon erwähnt, haben die *Brush*-Lampen von allen Lampen die grösste Verbreitung gefunden wegen ihres einfachen, sichern und billigen Betriebes. Man hat zwar auch schon schlecht brennende *Brush*-Lampen gesehen, z. B. auf der Münchener Ausstellung. Wenn auch die Behandlung der Lampen einfach ist, so muss sie doch mit Fachkenntniss vorgenommen werden, und je einfacher ein Mechanismus wird, um so genauer müssen die Bedingungen, unter denen er gut functionirt, erfüllt sein.

Die bisher beschriebenen elektrischen Lampen haben eine lösbare Kuppelung gemeinsam; bezüglich dieser finden wir von der rohen Frictionskuppelung der *Brush*-Lampen bis zu den vorzüglichen Auslösungen der *Siemens*-Lampen alle Grade der Feinheit vertreten. So sinnreich und fein aber auch die Kup-

Fig. 308.

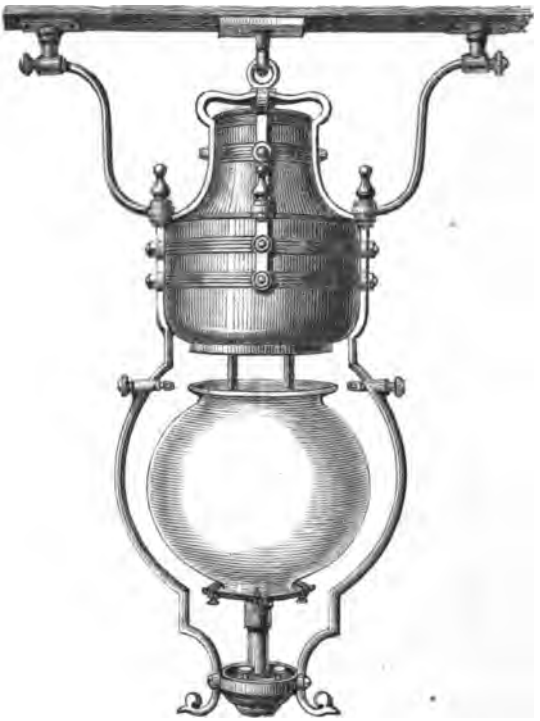


Doppel-Lampe von Brush für Strassenbeleuchtung.

Digitized by Google

pelung von *Siemens* ist, so darf doch nicht verkannt werden, dass diejenigen Lampen, welche einer jeden Kuppelung entbehren, den Vorzug verdienen. Solche Lampen suchten *Marcus & Egger* in Wien, sowie *Horn* in

Fig. 309.



Doppel-Lampe von Brush.

Berlin bereits vor Jahren herzustellen; sie hatten aber wenig Erfolg, da bei den construirten Lampen die Empfindlichkeit der Regulirung sehr beeinträchtigt wurde.[1]) Mehr Erfolg hatten die Bemühungen *T'chikoleff's* und *André's*,[2]) bei deren

1) Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre 1879, p. 263 und 1881, p. 228.

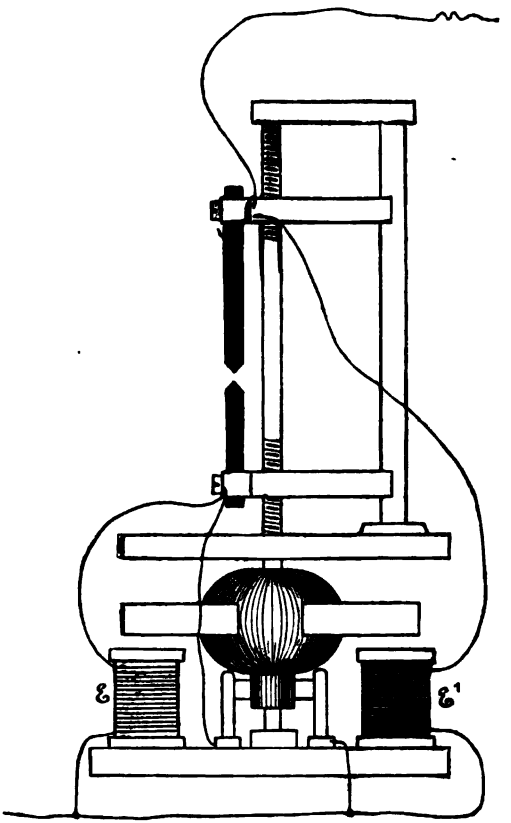
2) ib. 1881, p. 217.

Digitized by Google

Lampen der Bewegungs-Mechanismus aus einer kleinen elektro-dynamischen Maschine besteht. So ist in der

127. Tchikoleff'schen Lampe, welche zwar schon im Jahre 1877 in die Praxis eingeführt wurde und demgemäss als erste Differential-Lampe betrachtet werden kann, indessen

Fig. 310.



Die Tchikoleff'sche Lampe.

von aller Welt unbeachtet blieb und keineswegs auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung eine neue Periode des Fortschrittes schuf, eine *Gramme*'sche Maschine zur Regulirung der Entfernung der Kohlen verwandt. Den Ring

Digitized by Google

umschliessen die zu kreisförmigen Schuhen geformten Pole der Kerne zweier Stab-Elektromagnete. Die Achse des Ringes trägt eine links und eine rechts geschnittene Schraube, deren Muttern in den unteren und oberen Kohlenträgern sitzen.[1]) Dreht sich der Ring in der einen oder der anderen Richtung, so bewegt er die beiden Kohlen zugleich, nähert sie einander in dem einen Falle und entfernt sie von einander im andern Falle. Der Ring liegt in einem Zweigstromkreise, der auch den Lichtbogen in sich enthält; ein zweiter Zweigstromkreis enthält ebenfalls den Lichtbogen und ausserdem noch die Spule des Elektromagnets E; die Spule des Elektromagnets E' dagegen bildet für sich allein einen dritten Zweigstromkreis.

Nach den Erörterungen im §. 42 entstehen nun bei richtiger Stellung der Bürsten im Ringe zwei Pole (n und s), welche zu den Polen (N und N') der Elektromagnete (E und E') im Kreuze stehen; daraus folgt, dass der dickdrähtige Elektromagnet E die Kohlenspitzen von einander zu entfernen strebt, während der dünndrähtige E' die entgegengesetzte Tendenz hat. Die Wicklungen und Widerstände der Zweigschaltungen sind nun so angeordnet, dass bei einem bestimmten Widerstand des Lichtbogens die magnetischen Wirkungen der Elektromagnete sich das Gleichgewicht halten. Dieses Gleichgewicht wird aber gestört, wenn der Widerstand des Lichtbogens sich ändert, d. h. wenn der letztere enger oder weiter wird; ist der Widerstand des Lichtbogens zu klein, so überwiegt der Elektromagnet E und der Ring entfernt die Kohlen von einander; bei zu grossem dagegen bringt er sie einander näher. Für die öffentliche Beleuchtung bestimmte Lampen richtet *Tchi-*

1) Das Gewinde der Schraube ist bei Anwendung von Wechselströmen gleich, damit der Focus constant erhalten bleibt, ungleich aber bei Anwendung von gleichgerichteten Strömen. Cfr. p. 414.

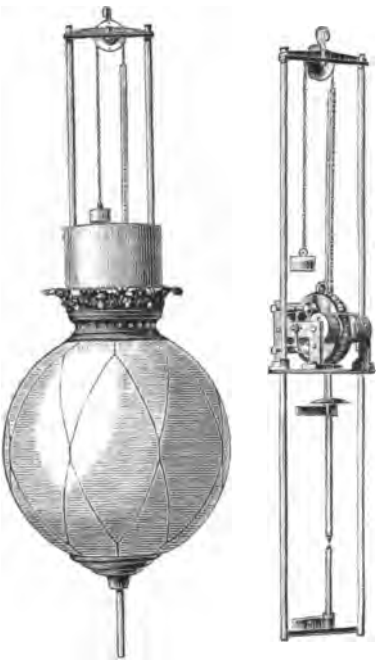
Digitized by Google

koleff so ein, dass der Ring nur die obere Kohle auf und ab bewegt, während die untere stillsteht.

In dieser Weise ist auch die durch die Figuren 311, 312 und 313 dargestellte

128. Schuckert'sche Differential-Ringlampe construirt. Bei ihr befindet sich zwischen den vier Magneten N, S, S_1, N_1, in verticaler Stellung ein Flachring, welcher seine Bewegung vermittelst eines Zahnrades und einer Zahnstange

Fig. 311 und 312.



Die Schuckert'sche Differential-Ringlampe.

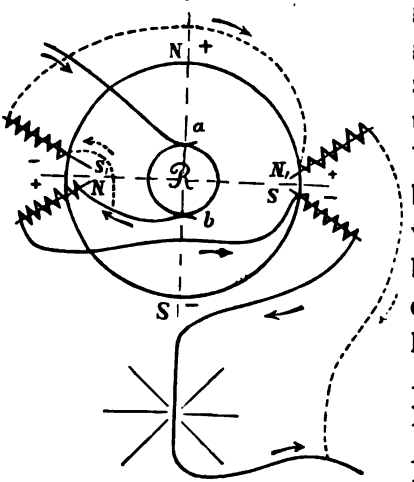
auf die obere Kohle überträgt; das Gewicht der Zahnstange bezw. des obern Kohlenhalters ist äquilibrirt durch ein Gegengewicht.

Wie Schema Fig. 313 zeigt, geht der Strom zuerst bei a in den Ring R, tritt bei b aus demselben und theilt sich

Digitized by Google

hier in zwei Zweige. Der eine Zweig enthält die Magnete $N\,S$[1]) mit wenig Windungen dicken Drahtes und den Lichtbogen; der andere Zweig, die den Nebenschluss bildenden Magnete $S_1\ N_1$ mit vielen Windungen dünnen Drahtes, (punctirt gezeichnet). Die Stellung der Contactrollen ist so gewählt, dass sich auf dem Ringe die gebildeten zwei Pole $N\ S$ zwischen den Polen der Elektromagnete $N\ S$ und $N_1\ S_1$ befinden. In Folge dessen wird der Ring bei richtigem Widerstande des Lichtbogens von beiden Magnetsystemen gleichmässig in entgegengesetzter Richtung angezogen bezw. abgestossen und verharrt in Ruhe. Wird aber der Widerstand bei Entfernung der Kohlen von einander im Lichtbogen grösser, so werden die in diesem Stromkreise liegenden Elektromagnete $N\ S$ schwächer, die im Nebenschluss liegenden $S_1\ N_1$ dagegen stärker. Die Wirkung der letzteren auf den Ring überwiegt und bewegt denselben nach einer Richtung, wodurch die Kohlen sich nähern. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn der Widerstand im Lichtbogen kleiner wird. Es erhellt, dass der Strom auf diese Weise den Lichtbogen immer auf den bei der Construction vorgesehenen Widerstand einstellt, so dass beliebig viele solcher Lampen in einem Stromkreis brennen können, ohne einander schädlich zu beeinflussen.

Fig. 313.



Der Kreislauf des Stromes in der Schuckert'schen Ringlampe.

1) $N\ S$ liegen vor, $N_1\ S_1$ hinter der Papierfläche. Cfr. Fig. 213.

Digitized by Google

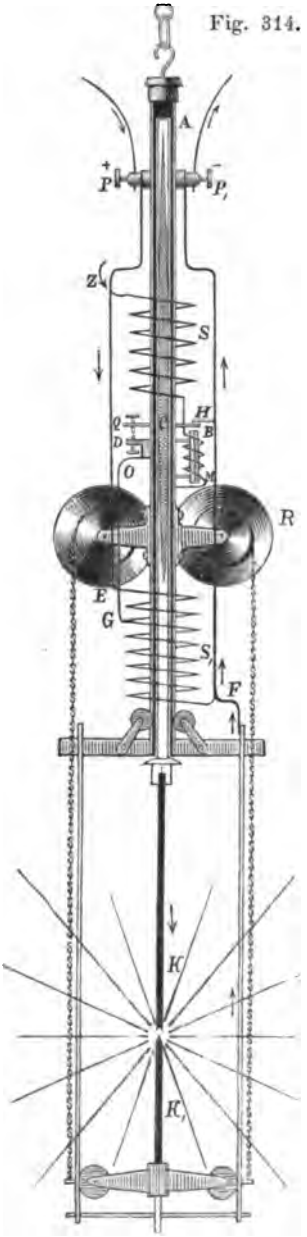
In ungemein einfacher Weise haben *Krizik* und *Piette* in ihrer Stablampe jede Kuppelung zu beseitigen gewusst. „Es ist gar nicht zu bezweifeln," sagt *Uppenborn*, „dass die Stablampe, welche ihre constructive Durchbildung *S. Schuckert* verdankt, eine ganz neue Epoche in der Construction elektrischer Lampen herbeiführen wird. Diese Lampe enthält weder Kuppelung noch überhaupt irgend ein Uhrwerk. Ein nach beiden Seiten zugespitzter Eisenkern, zwei Differentialspulen, ein nebenschliessender Sicherheitscontact nebst Elektromagnet, zwei Kohlenhalter, das ist alles, was die Lampe in sich birgt. Trotz dieser ganz enormen Einfachheit functionirt die Lampe sehr exact. Die Idee, einen konischen Eisenkern anzuwenden,[1]) welche für die Zukunft dieser Lampe von entschiedener Bedeutung war und ist, ging von *Schuckert* aus, der auch, wie gesagt, die constructive Durchbildung der Lampe in vortrefflicher Weise vornahm." Die

129. Krizik-Piette'sche Differential-Lampe (Stablampe) ist durch die Fig. 314, 315 und 316 dargestellt. Der Eisenkern kann sich in der Büchse A frei bewegen und ist an seinem untern Ende mit dem obern Kohlenhalter K zweckmässig verbunden. Auf diesen Kern wirken zwei in einer oberen und einer unteren Stellung die Büchse A umschliessende Spulen S und S_1 auf eine bestimmte grössere Weglänge ein, und zwar in entgegengesetzter Richtung, jedoch gleich stark, so lange die magnetischen Momente der Spulen gleich sind. Die Spule S ist mit dem Lichtbogen in denselben Stromkreis (P, Z, S, M, K, K_1, P_1) geschaltet und besteht aus starkem Kupferdraht mit geringem Widerstand und wenig Windungen; die Spule S_1 ist hingegen als Nebenschluss geschaltet (P, E, S_1, F, P_1), hat einen grossen Widerstand und ausser einigen Lagen dicken

1) Vgl. p. 17.

Digitized by Google

Fig. 314.



Schematische Darstellung der Krizik-Piette'schen Lampe.

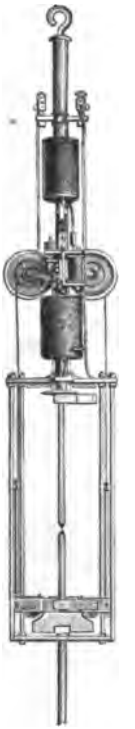
Kupferdrahtes s_1 viele Windungen dünnen Drahtes s_2, so dass sie schon durch einen schwachen Strom dasselbe magnetische Moment erhält, welches die Spule S erst bei einem starken Strome zeigen würde. Die Stromstärke in den beiden Spulen hängt aber von der jeweiligen Weite des Lichtbogens ab; je grösser diese ist, um so schwächer ist der Strom der Spule S und um so stärker der Strom der Spule S_1. Somit kann die Wirkung der Spulen S und S_1 auf den Eisenkern nur dann gleich stark sein, wenn der Lichtbogen eine gewisse Weite hat, welcher bei der Construction die Grösse der Spulen, die Anzahl der Windungen, die Drahtdicke sowie Gestalt und Grösse des doppelkonischen Eisenkernes anzupassen sind. Aendert sich der Lichtbogen durch Verbrennung der Kohlen, so schwächt der vermehrte Widerstand der Hauptleitung das magnetische Moment der Spule S, während die Wirkung der Spule S_1 wächst. Daher gleitet der Eisenkern so weit in die Spule S_1 hinein, bis die Kohlen die richtige Entfernung zu einander wieder erlangt haben.

Mit dem Eisenkern sind nun

Digitized by Google

Schnüre verbunden, welche über zwei an der Hülse *A* befestigte Rollen *R* gleiten und in einer Weise mit dem untern Kohlenhalter verbunden sind, wie es aus Fig. 314 deutlich zu ersehen ist; durch das Gewicht des untern Kohlenhalters ist der Eisenkern nebst dem obern Kohlenhalter vollkommen äquilibrirt. Sobald also der Eisenkern nach unten gleitet und die obere Kohle sinken lässt, zieht derselbe die untere Kohle nach oben, so dass bei der betrachteten Hängelampe der Lichtbogen nicht nur die richtige Länge behält, sondern auch an demselben Puncte bleibt. Sobald der Bogen die normale Weite hat und die Spulen wiederum in gleicher Weise auf den Eisenkern einwirken, hört die Bewegung des Kernes auf. Hiernach arbeitet die Lampe ganz stetig, da die Kohlen der Abnutzung entsprechend sofort vorgeschoben werden. Die Reibung bei diesem Vorgange ist sehr klein und daher ist eine sehr genaue gleichzeitige Regulirung eines oder mehrerer Lichtbogen für eine bestimmte Länge während der ganzen Brenndauer ausschliesslich durch den Strom und die eigenthümliche Form des Eisenkernes erreicht.

Fig. 315.



Die Krizik-Piette'sche Lampe.

Zur Erhaltung des Stromes im Falle des Erlöschens einer Lampe dient folgende automatische Ausschalte-Vorrichtung eines Theiles der Nebenschluss-Spirale. (Vgl. Fig. 314.) *M* ist ein im Hauptstrome eingeschalteter Elektromagnet, *B* der hierzu gehörige, um den Punct *C* drehbare Anker, welcher durch ein Gegengewicht *Q* vom Elektromagnet entfernt gehalten wird, *D* ein an der Hülse isolirter Winkel, der mit einer Contactschraube und einer Klemme versehen ist. Von der

Digitized by Google

letzteren führt ein Leitungsdraht O zu dem untern Ende des die Spule S_1 umgebenden dicken Kupferdrahtes s_1, von dem auch die Lage dünnen Kupferdrahtes s_2 ausgeht. Durchfliesst der Strom den Hauptzweig P, Z, S, M, K, K_1, P_1. so zieht der Elektromagnet M den Anker B auf der einen Seite an, wodurch die am andern Ende angebrachten Contactschrauben von einander entfernt und die ganze Nebenschliessung $(s_1 + s_2)$ eingeschaltet ist. Wird aber der Strom im Hauptzweige aus irgend einem Grunde unterbrochen, so hört die Anziehung des Elektromagnets M gänzlich auf, wodurch der Anker B abgerissen und durch die Contactschrauben der Theil der Nebenschliessung s_2 kurz geschlossen wird. Der Gesammtstrom fliesst dann nur durch den aus stärkeren Kupferdrähten s_1 hergestellten Theil der Nebenspule $(P, E, s_1, G, O, D, Q, H, P_1)$, so dass dem Durchgange des Stromes durch die Lampe ein freier Weg gelassen wird.

Fig. 316.

Die Krizik-Piette'sche Lampe mit Glocke.

Trotz ihrer grossen Vollkommenheit erhält die Lampe doch immer noch weitere Verbesserungen. Das Schema, nach welchem jetzt die Leitungen ausgeführt werden, zeigt Fig. 317. Namentlich bemerkenswerth ist, wie hier die Regulirung des Lichtbogens vorgenommen wird. Die Windungen auf der oberen Spule M (in der Fig. 314 mit S

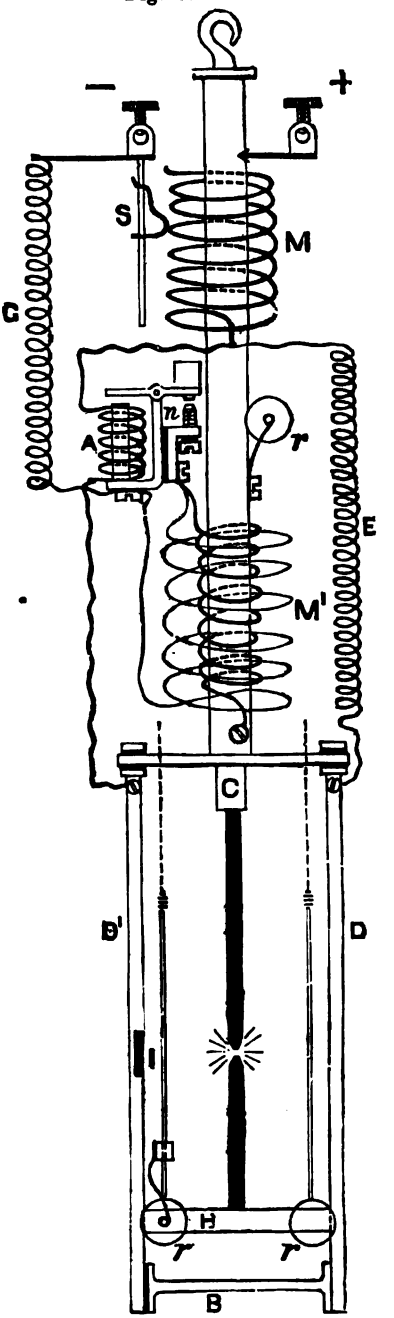
Digitized by Google

bezeichnet) sind auf einer Breite von 10mm von der Isolirung entblösst. Die Zuführung des Stromes in dieselben geschieht durch den verschiebbaren Gleit-Contact *S*. Wenn man nun diesen Contact abwärts schiebt, wird die Länge des vom Strome durchflossenen Drahtes immer mehr verkürzt und dadurch auch die Wirkung der Spule auf den Eisenstab und die Länge des Lichtbogens verkleinert.

In den neueren Lampen wird der Stab in zwei Theile zerschnitten und die Spulen *M* M^1 resp. *S* S_1 nicht mehr über einander, sondern neben einander gestellt, wie dies Fig. 318 zeigt. Auch die Befestigung der Kohlen wird dadurch verändert, wie aus der nebenstehenden Figur zu ersehen ist.

Fig. 319 zeigt die Stehlampe von *Krizik*, bei welcher der Regulirungs-Mechanismus un-

Fig. 317.



Neues Schema der Krizik-Lampe.

Digitized by Google

terhalb des Lichtbogens angebracht ist. Lampen dieser Art werden meist mit Parabol-Reflectoren als Projectoren zu verschiedenen Beleuchtungszwecken verwendet.

Fig. 318.

Neues Modell der Krizik-Lampe.

Fig. 319.

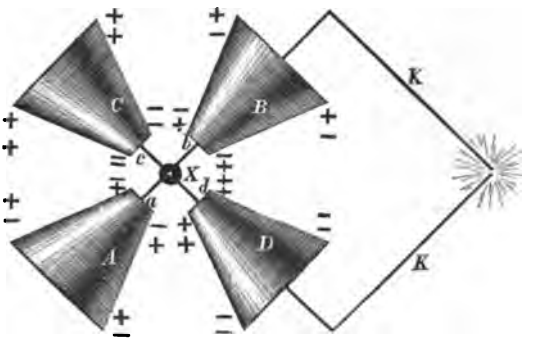
Stehlampe von Krizik.

130. Die Bogenlampe von Schmidt. Zu den Differential-Lampen ohne Kuppelung kann man auch die Bogenlampe von *Schmidt* rechnen, welche zum ersten Mal in der Münchener elektrischen Ausstellung an die Oeffentlichkeit trat, und auch in der Wiener Ausstellung in mehreren Exemplaren vertreten ist. In derselben wird die Länge des Lichtbogens durch die elektro-dynamische oder elektro-magneti-

Digitized by Google

sche Anziehung oder Abstossung zweier Stromkreise regulirt. In den einen dieser Stromkreise ist der Lichtbogen eingeschaltet; der andere Stromkreis kann einen Nebenschluss zu demselben bilden, er kann aber auch von einem constanten, vom Lichtbogen ganz unabhängigen Strome durchflossen sein. Der Grundgedanke lässt sich unter Hinweis auf die Fig. 320 leicht erläutern.[1]) Die Elektromagnete *A*, *B*, *C*, *D* sind an die Enden der Doppelhebel *a b* und *c d* aufgesetzt, welche im Gelenke *X* leicht drehbar gegen einander isolirt sind.

Fig. 320.



Die Bogenlampe von Schmidt. (Schema.)

Jeder der vier Elektromagnete wird mit einer doppelten Drahtbewicklung versehen. Die eine besteht aus wenigen dicken, die andere aus vielen dünnen Windungen. In dem dünnen Drahte fliesst beständig ein schwacher Strom, welcher in den einzelnen Elektromagneten eine derartige Anordnung der Pole erzeugt, dass zwischen *A* und *C*, dann zwischen *B* und *D* Anziehung, dagegen zwischen *A* und *D*, *B* und *C* Abstossung stattfindet. Die sich anziehenden Elektromagnete bewegen sich gegen einander und werden in dieser Bewegung noch von den gleichzeitig austretenden Abstossungen unterstützt. In den zweiten Stromkreis sind

1) Elektrotechnische Zeitschrift 1882, Seite 358.

Digitized by Google

die Kohlenstäbe *K K* eingeschaltet. Der in demselben circulirende Hauptstrom entwickelt in den benachbarten Elektromagneten Pole, welche eine der ersteren Leitung entgegengesetzte einzuleiten bestreben. Demgemäss entsteht in Folge dieses Stromes zwischen *A* und *D*, dann zwischen *B* und *C* Anziehung, dagegen zwischen *A* und *C* und *B* und *D* Abstossung. Durchläuft nun ein Strom die Drahtwindung der Elektromagnete und sind die Kohlenstäbe zwischen *B* und *D* oder zwischen *A* und *C* derart befestigt, dass sie in Berührung gerathen müssen, wenn der elektrische Strom die dünnen Windungen allein durchfliesst, so wird erst durch diese Berührung der Kohlen der Hauptkreis geschlossen. Im Augenblick der Berührung beginnt die Stromtheilung. Der bei Weitem grösste Theil des Stromes fliesst durch die dicken Windungen und die Kohlenstäbe, während die Nebenleitung mit dünnen Drähten fast strom- und daher auch wirkungslos wird. Die Kohlenstäbe trennen sich daher und der Lichtbogen entsteht. Wenn nun die Kohlenstäbe langsam abbrennen und die Länge des Lichtbogens wächst, so gewinnt der andere Stromkreis an Wirksamkeit. Hat der Lichtbogen einen bestimmten normalen Widerstand, so halten die Kräfte der Elektromagnete einander das Gleichgewicht. Beim weitern Abbrennen der Kohlen wächst der Widerstand in der Hauptleitung und das Gleichgewicht wird gestört. Die anziehende Componente überwiegt, bewirkt ein allmähliches Nähern der Kohlenstäbe und es tritt wieder Gleichgewicht ein. Dies ist der Regulirungsvorgang, der während der ganzen Brennzeit andauert.

Zur Erzielung dieses Verlaufes müssen die Windungen der Elektromagnete *C* und *D* des Hebels *c d*, beide im gleichen Sinne, die beiden Windungen von *A* und *B* dagegen im entgegengesetzten Sinne laufen. Die Solenoide und Elektromagnete können cylindrisch, konisch, trichter- oder hufeisenförmig, die Bewegung derselben kann eine

Digitized by Google

gradlinige, bogenförmige oder rotirende sein und kann durch Rollen, Hebel und Achsen u. s. w. vermittelt werden. Durch diese Anziehung und Abstossung der Elektromagnete oder Solenoide soll die selbständige Regulirung des Lichtbogens vollständig erreichbar sein. Die Anzahl der zu einer Zusammenstellung gewählten Elektromagnete oder Solenoide ist innerhalb gewisser Grenzen eine beliebig grosse. Wenn das ganze System äquilibrirt und ihm die leichte Beweglichkeit gesichert ist, so gelangen die elektro-magnetischen oder elektro-dynamischen Wirkungen desselben zur vollen Aeusserung, und der Anwendung des Principes zur Construction von Steh-, Hänge-, Wand- und anderen Lampen steht nach der Meinung des Erfinders nichts entgegen. Dasselbe ist allerdings sehr einfach, aber es ist uns bis jetzt noch keine Form desselben bekannt geworden, welche eine praktische Verwendung gefunden hat.

III. Lampen zur Parallelschaltung.

In der Elektricitäts-Ausstellung zu Paris war zum ersten Mal Gelegenheit geboten, eine Lampe zu sehen, welche keinen Nebenschluss und keine Differentialspulen enthielt und dennoch die Theilung des elektrischen Lichtes gestattete, sich also zur Herstellung mehrerer Lichter mit *Volta*'schem Bogen verwenden liess, auch wenn die Stromquelle keine Partialströme lieferte, sobald nur die Lampen nicht hinter einander, sondern neben einander geschaltet wurden. Es war dieses die

131. Elektrische Lampe von R. J. Gülcher[1]) in Bielitz-Biala. Das Constructionsprincip sowie die Wirkungsweise derselben erläutern wir an einer zu Demonstrationszwecken verfertigten und in Fig. 321 in perspectivischer Ansicht

1) Vgl. Z. f. a. E., Bd. II, p. 374.

Digitized by Google

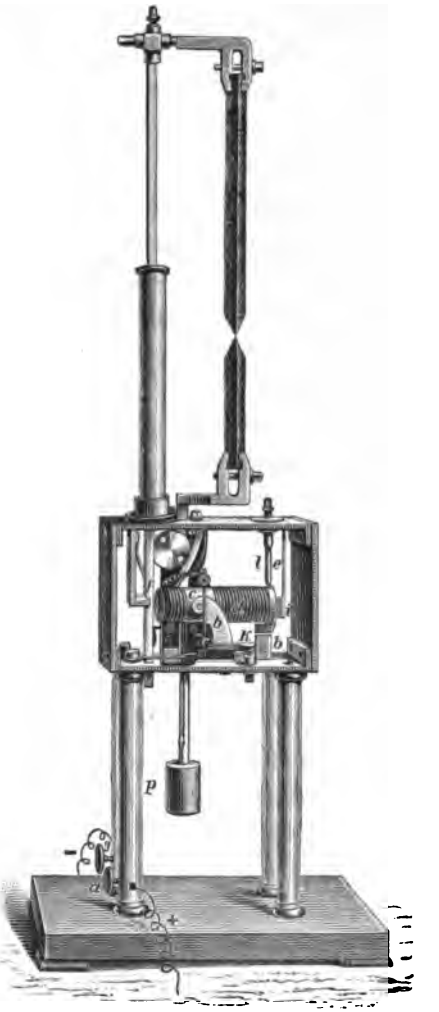
abgebildeten Lampe. Der positive Pol der Stromquelle wird mit der Klemmschraube *a* verbunden, von welcher der Strom durch den Fuss *p* zu dem auf dem Boden des den Lampen-Mechanismus umschliessenden Gehäuses befestigten, dabei wohl isolirten Ständer *b* geleitet wird. In diesem Ständer lagern die Zapfen eines Metallringes *c*, durch welchen ein stabförmiger Elektromagnet *d* befestigt wird, der eine drehende Bewegung um die erwähnten Zapfen, also um seine Längsachse machen kann. Der Strom fliesst nun vom Ständer *b* durch den Zapfen des Ringes *c* in diesen selbst; von hier gelangt er durch die mittelst ihres einen Endes mit dem Ringe *c* leitend verbundene Drahtumwicklung des Elektromagnets *d* um den Kern desselben und alsdann zu dem das Ende des Magnetkernes berührenden, aus einer schmiedeeisernen Stange bestehenden und in geeigneter Weise geführten Halter *f* der oberen Kohle, um schliesslich durch diesen, die Kohlenspitzen, den Halter der unteren Kohle und eine entsprechende Leitung zur zweiten Klemmschraube *g* zu fliessen, welche mit dem negativen Pole der Stromquelle verbunden wird.

Unter dem dem oberen Kohlenhalter *f* entgegengesetzten Ende des Elektromagnets *d* ist in einiger Entfernung ein kleiner prismatischer Eisenstab *h* (in der Figur irrig auch mit *b* bezeichnet) am Gehäuse befestigt; ferner ist die am Magnetkern anliegende Feder *e* mit einem ähnlichen, aber kleineren Eisenprisma *i* versehen, und schliesslich drückt eine am Winkelhebel *k* befestigte, vom Gehäuse isolirte und durch eine Schraube stellbare Feder auf eine verlängerte Schraube des Metallringes *c* und bewirkt, dass der Elektromagnet sich an einen verstellbaren, durch eine einfache Schraube *l* gebildeten Anschlag anlegt, so lange kein Strom durch die Lampe fliesst. Die beiden Polschuhe des Elektromagnets sind nach Kreisbogen geformt, deren Mittelpuncte in der Zapfenmitte des Ringes *c*

Digitized by Google

liegen, und sind gleich den sie berührenden Eisentheilen *f* und *i* mit einem dünnen Messing-Ueberzug versehen, theils um ein Rosten des Eisens zu verhindern, theils um ein richtiges Functioniren der Lampe zu sichern.

Fig. 321.



Die elektrische Lampe von Gülcher.

Sobald der Strom die Lampe durchfliesst, zieht der Elektromagnet den obern Kohlenhalter *f* mit dem ihn berührenden Polschuh fest an. Gleichzeitig findet zwischen dem zweiten, nach unten etwas verlängerten Polschuh und dem prismatischen Eisenstab *h* eine gegenseitige Anziehung statt; da der Eisenstab *h* aber am Gehäuse befestigt ist, so ist der Polschuh gezwungen, sich diesem zu nähern, d. h. den Elektromagnet um die Zapfen des Ringes *c* zu drehen, wodurch der obere Kohlenhalter gehoben wird, so dass die Kohlenspitzen, welche sich vorher berührten, aus einander gehen und den Lichtbogen bilden.

Digitized by Google

Es ist klar, dass mit der Entfernung der Kohlenspitzen der Widerstand zu-, die Stromstärke und die Stärke des Magnets aber abnimmt, und dass somit diese die Stärke des Lichtbogens bedingende Entfernung der Stromstärke entsprechen muss, indem sich das Gewicht des obern Kohlenhalters auf der einen Seite und die Anziehungskraft des Magnets auf der anderen Seite stets das Gleichgewicht halten. In dem Maasse nun, als die Entfernung der Kohlenspitzen durch Abbrennen grösser wird, wird andererseits der Magnetismus schwächer; in Folge dessen entfernt sich der Magnet wieder allmählich mehr und mehr vom Eisenstabe *h*, nähert dadurch die Kohlenspitzen um so viel als sie verbrennen und setzt seine rückwärtsgehende Drehung so lange fort, bis diese endlich durch den Anschlag der Schraube *l* begrenzt wird.

Von diesem Moment an bleibt der Magnet vollständig in Ruhe; die Kohlenspitzen erhalten bald durch weiteres Abbrennen die Entfernung, welche den grössten der Stromstärke entsprechenden Lichteffect gibt. Sobald diese erreicht ist, wird bei weiterm Abbrennen der Kohlenspitzen die Anziehungskraft des Magnets so geschwächt, dass der obere Kohlenhalter *f* von seinem Polschuh nicht mehr genügend festgehalten wird und in Folge dessen an diesem herabzugleiten beginnt. Damit dieses leicht, gleichmässig und rechtzeitig erfolgt, sind der Kohlenhalter und der berührende Polschuh mit dem bereits erwähnten Messing-Ueberzug bekleidet. Dabei geschieht das Herabgleiten des Kohlenhalters nur in ganz kleinen Wegtheilen, da durch das geringste Nähern der Kohlenspitzen der Magnetismus sofort wiederum stärker wird, der Polschuh also den Kohlenhalter festhält und an zu weitem Sinken hindert. Sollte, was nur selten eintreten soll, der Kohlenhalter zu tief sinken, so würde der Magnetismus so stark werden, dass die Anziehungskraft des Eisenstabes *h* wieder, wie oben be-

Digitized by Google

schrieben, in Wirksamkeit treten würde, um das Spiel von Neuem zu beginnen.

Damit die Bewegung des Elektromagnets beim Anzünden der Lampe oder bei aussergewöhnlichen Regulirungs-Momenten nicht zu heftig wird, ist der dem Kohlenhalter abgewendete Pol desselben mit der kleinen magnetischen Bremse *i* versehen, welche diesem Zwecke besser entsprechen soll, als ein durch Räder-Uebersetzungen in Bewegung gesetzter Windfang oder andere Vorrichtungen. Auch bei dieser Bremse verhütet der dünne Messing-Ueberzug des Polschuhes und des kleinen Eisenprismas *i* ein zu starkes Anhaften am Magnet und gestattet leichte und gleichmässige Bewegung.

Der Lichtbogen wird bei den *Gülcher*'schen Lampen in constanter Höhe erhalten, die Kohlenhalter sind also in bekannter Weise mit einander verbunden, wonach die Bewegung des obern Halters eine entsprechende des untern nach sich zieht.

Es lässt sich nicht verkennen, dass sich die Lampe durch grosse Einfachheit auszeichnet und die Theile derselben keiner Abnutzung unterworfen sind; dieselbe functionirt auch so vorzüglich, dass man Fluctuationen des Lichtes durchaus nicht wahrnimmt.

Das Merkwürdigste ist jedoch die Schaltungsweise, welche die Theilung des elektrischen Lichtes mittelst dieser Lampe ermöglicht. Es wurde schon gesagt, dass zu diesem Zwecke die Lampen neben einander und nicht, wie die Nebenschluss- und Differential-Lampen, hinter einander geschaltet werden; wenn in dieser Weise mehrere Lampen in paralleler Schaltung von derselben Maschine gespeist werden, so brennen sie ruhig mit einander und stören sich nicht gegenseitig. Der Grund hiervon ist unschwer zu erkennen, wenn die folgende, der Z. f. a. E., III, S. 390 entnommene Erörterung beachtet wird:

Digitized by Google

„Denkt man sich zunächst zwei der oben beschriebenen Lampen (Fig. 320) zwischen den Polen einer Elektricitätsquelle parallel geschaltet, so findet man leicht, dass die eine Lampe der Regulator der anderen ist. Es sei zuerst die Lampe *A* durch Schliessung der zugehörigen Leitung angezündet worden; wenn nun die zweite Leitung der Lampe *B* geschlossen wird, so theilt sich der durch die Doppelschliessung entsprechend stärker gewordene Hauptstrom in zwei Theile. Der Theilstrom, welcher die Lampe *B* durchfliesst, ist aber stärker als der der Lampe *A*, weil sich bei *B* die Kohlenspitzen berühren und der Widerstand in dieser Zweigleitung also geringer ist als in der anderen. Die Folge hiervon wird sein, dass die Lampe *B* sofort durch energische Wirkung des Elektromagnets, welcher die Kohlenspitzen von einander entfernt, zum Functioniren gebracht wird, und bei Lampe *A*, der Abnahme der Stärke des zugehörigen Theilstromes entsprechend, die Kohlenspitzen ein wenig genähert werden. Wenn nun bei der Lampe *B* die Entfernung der Kohlenspitzen grösser wird als bei der anderen *A*, so muss die Stromstärke wieder in *A* zunehmen und bewirken, dass die Kohlenspitzen in *B* sich nähern; umgekehrt wird auch die Lampe *A* bei zu grosser Entfernung ihrer Kohlenspitzen bewirken müssen, dass bei *B* durch die Zunahme der Stromstärke in der zugehörigen Leitung der Elektromagnet die Entfernung der Kohlenspitzen vergrössert und hierdurch der Gesammtstrom um so viel geschwächt wird, dass der obere Kohlenhalter der Lampe *A* vom Elektromagnet nicht mehr getragen werden kann und deshalb herabgleiten muss, wodurch die Kohlenspitzen der Lampe *A* wieder einander genähert werden. Hierdurch wird der Zweigstrom in *B* wieder schwächer, der Magnet kehrt dort in Folge dessen in seine Ruhelage zurück u. s. f. — Man sieht, dass sich die beiden parallel geschalteten Lampen in ihrer gegenseitigen Wirkung ganz ähnlich verhalten wie die Spulen von

Digitized by Google

verschiedenem Widerstande in den Differential-Lampen: die eine Lampe regulirt die andere und durch diese sich selbst, so dass binnen kürzester Zeit zwischen den beiden Lampen und ihren zugehörigen Theilströmen das Gleichgewicht hergestellt sein muss.

Sobald aber dies geschehen ist, kann eine dritte Lampe C zwischen den Polen derselben Elektricitätsquelle parallel eingeschaltet werden. Die beiden ersten Lampen, welche sich bereits gegenseitig regulirt haben, können nun als ein Ganzes $(A+B)$ angesehen werden, welches bei Schliessung des zur Lampe C gehörigen Theilstromes durch diese (C), wie auch umgekehrt C durch $A+B$ regulirt wird. Ebenso wirkt dann A auf $B+C$ und B auf $A+C$ selbstthätig und gegenseitig regulirend ein. Was aber von drei Lampen gilt, das hat auch für eine beliebige Anzahl von Lampen Gültigkeit, und es ist somit dargethan, dass sich die *Gülcher*'schen Lampen, ohne Hinzufügung irgend welcher besonderer Vorrichtungen, durch einfache Anordnung in Parallelschaltung zur Theilung des elektrischen Lichtes vortrefflich verwenden lassen.

Die Vorzüge einer guten Parallelschaltung und der mit derselben zusammenhängenden Anwendung quantitativ starker Ströme bestehen im Wesentlichen darin, dass das auf diese Weise erzeugte elektrische Licht gelblich bis weiss (ohne den violetten oder bläulichen Schein des Lichtes stark gespannter Ströme) ist; dass die Lampen in Folge ihrer grössten Einfachheit zu billigem Preise hergestellt werden können, dass von den neben einander geschalteten Lampen eine beliebige Anzahl ausgelöscht und wieder angezündet werden kann, ohne hierdurch die anderen Lampen merklich zu beeinflussen oder zu diesem Zwecke irgend welcher Vorrichtungen wie Compensationswiderstände, Umschalter etc. zu bedürfen; dass der Kraftverbrauch der dynamo-elektrischen Maschine der Anzahl von Lampen pro-

Digitized by Google

portional ist, welche jeweilig von derselben gespeist werden; dass nach Belieben grössere oder kleinere Lampen (letztere dann in vielfacher Anzahl), sowie auch grosse und kleine Lampen zu gleicher Zeit von einer und derselben Maschine gespeist werden können; dass die Isolirung der Leitungen eine einfache und daher billige sein kann, und schliesslich, dass die Bedienung der Lampen während des Betriebes, ja selbst die Berührung blanker Stellen der Leitungen mit ungeschützten Körpertheilen vollständig gefahrlos ist.

Alle diese Vorzüge, welche durch die Anwendung der Parallelschaltung sich erzielen lassen, werden durch die grosse Einfachheit und unmittelbare Wirkungsweise der *Gülcher*'schen Lampe erreicht."

Des Weitern wird an genannter Stelle eine ebenso einfache und sinnreiche als praktisch leicht ausführbare Methode erwähnt, um eine gleichmässige Vertheilung des elektrischen Stromes unter den einzelnen Lampen zu erzielen. Auf diese wollen wir nur verwiesen haben und führen nur noch das Urtheil der „Z. f. a. E." über das *Gülcher*'sche System an, da dasselbe nach allen Seiten hin gerecht und correct genannt werden darf.

„Es darf freilich schliesslich nicht vergessen werden, dass man unter sonst gleichen Umständen zu der Parallelschaltung nach der beschriebenen Methode das *n*fache Gewicht an Leitungsmaterial, welches bei der Hintereinanderschaltung verbraucht wird, verwenden muss. Die letztere ist daher theoretisch wegen ihres ungemein grossen Nutzeffectes die vorzüglichere. Doch ist durch die enorme Spannung der hierzu dienenden Ströme sehr bald eine praktische Grenze gesteckt. Eine ähnliche Grenze liegt für die beschriebene Parallelschaltung in dem grossen Verbrauch an Leitungsmaterial. Doch ist wohl zu beachten, dass die *Gülcher*'sche Lampe nur wenige Meter Draht in sich birgt. Hierdurch sowie durch ihre enorme Einfachheit wird der Verbrauch

Digitized by Google

an Leitungsmaterial in der Praxis wohl meistens aufgewogen. Wie weit man nach dem *Gülcher*'schen Principe mit der Theilung des elektrischen Lichtes gehen darf, lässt sich nicht allgemein entscheiden, kann aber für jeden einzelnen Fall bequem berechnet werden."

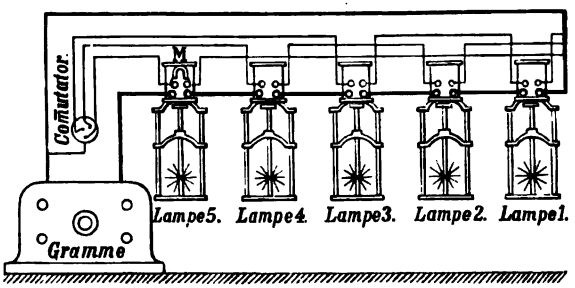
Das Beleuchtungs-System von *Gülcher* findet besonders in Färbereien und ähnlicher Fabrik-Anlagen ausgedehnte Verwendung; es zeichnet sich gegenüber andern Systemen ausser den schon erwähnten Vortheilen durch die Farbe des Lichtes aus, die derjenigen der Sonne ganz gleich ist.

IV. Brockie's System.

Ganz eigenartig ist schliesslich

132. Brockie's elektrische Lampe, bei welcher die Entfernung der Kohlenstäbe von einander nicht durch die Stromstärke, sondern ohne Rücksicht auf die letztere dadurch regulirt wird, dass die Kohlen durch die Wirkung eines Elektromagnets etwa alle Minuten oder noch öfters mit einander zur Berührung und sodann in die richtige Entfernung

Fig. 322.



Brockie's Anordnung elektrischer Bogenlampen.

zu einander gebracht werden. Dazu werden dem Elektromagnet mittelst eines von einer Kraft- oder Dynamo-Maschine in Umdrehung erhaltenen Commutators kurze Ströme in entsprechend rascher Folge zugeführt; dabei lässt

Digitized by Google

der Elektromagnet einen Griff, der die oberen Kohlen hält, bald fallen, wodurch die obere Kohle sich auf die untere auflegt, bald in der Weise heben, dass er den Kohlen die gewünschte Distanz gibt. Dieses gibt den Lampen ein blinkendes Licht, welches zuerst unangenehm berührt, bald aber nicht mehr auffällt. Die Anordnung solcher *Brockie*'schen Lampen mag aus der Fig. 322 hervorgehen; dieselbe lässt erkennen, dass die Elektromagnete in einem aus dünnem Draht bestehenden Nebenschluss liegen, mit dem Hauptstrome aber, welcher durch die Kohlen geht, nicht in Verbindung stehen. Es ist ersichtlich, dass hiermit ein ganz neues Princip in die elektrische Beleuchtung eingeführt ist, dessen Werth jedoch durch weitere Versuche noch festgestellt werden muss. Bisher wurden die Erfolge dieses Systems verschiedenartig beurtheilt und vermochten noch nicht, demselben ansehnliche Verbreitung zu verschaffen.

Digitized by Google

XI. Abtheilung.

Elektrische Kerzen von Jablochkoff und Jamin u. A.

(Diverse Lampen.)

Ehe *v. Hefner-Alteneck* die Vertheilung des elektrischen Lichtes, d. h. die Einschaltung mehrerer Lichter in einen und denselben Stromkreis, durch Erfindung seiner Differential-Lampe in genügender Weise möglich machte, war in dieser Richtung bereits ein Fortschritt durch *Paul Jablochkoff* in Russland geschehen, welcher das mechanische selbstthätige Einstellen des Lichtbogens verwarf und an Stelle der zu jener Zeit gebräuchlichen Lampen die sogenannte elektrische Kerze setzte. Eine solche liess *Jablochkoff* am 30. October 1876 zuerst der Pariser Akademie vorzeigen. Die

133. **Jablochkoff'sche Kerze (Bougie électrique)** besteht aus zwei parallelen Kohlenstäbchen, welche nur durch einen kleinen Zwischenraum von einander getrennt und durch eine nicht leitende Substanz, mit welcher dieser Zwischenraum ausgefüllt ist, fest mit einander verbunden sind. Der elektrische Strom tritt in eines der Kohlenstäbchen ein und zu dem andern wieder heraus, wobei die Spitze da, wo der Strom von der einen Kohle zur anderen übergeht, bald weissglühend wird. Die nicht leitende Zwischensubstanz schmilzt in der Hitze des kleinen Lichtbogens und geht in

Digitized by Google

Dampfform über; die Kohlenstäbchen werden so nach und nach frei und verbrennen langsam in dem Maasse, als die isolirende Masse verdampft. Der ganze Process geht langsam und ruhig vor sich, wie das Abbrennen einer Wachskerze; die Kohlenstäbchen bilden gewissermaassen den Docht, die isolirende Zwischensubstanz das Wachs; doch bemerkt man an dem sehr intensiven, sehr schwach rosa oder violett gefärbten Lichte, welches von den glühenden Kohlen ausstrahlt und durch die glühenden Dämpfe der schmelzenden Isolirmasse noch bedeutend verstärkt wird, ein schwaches Flackern oder Zucken, bisweilen auch ein Schwanken der Lichtstärke.

Bei der Wahl des isolirenden Zwischenmaterials ist darauf zu sehen, dass dasselbe in der Hitze des kleinen, zwischen den Kohlenstäbchen sich bildenden Flammen- und Lichtbogens schmilzt und vollständig in Dampf übergeht und dass die glühenden Partikelchen dieses Dampfes die Leuchtkraft der Kohle erhöhen. Die schwer schmelzbaren erdigen Substanzen sind fast alle mehr oder weniger hierzu geeignet; Sand, gepulvertes Glas, verschiedene Mörtel, Kaolin, gestossenes Porcellan, Gyps u. s. w. können alle hierzu dienen, und namentlich scheint Gyps eines der passendsten Bindemittel für die beiden Kohlenstäbchen zu sein.

Um zu bewirken, dass beim ersten Einlassen des Stromes in die elektrische Kerze derselbe über das Isolirmaterial hinweg seinen Weg von einem Kohlenstäbchen zum andern finde und das Anzünden derselben ohne besonderes Zuthun der Hand automatisch geschehe, gibt *Jablochkoff* den Kerzen die sehr einfache Einrichtung, dass beide Kohlenstäbchen auf ihrem obern Ende durch ein ganz kleines Graphitplättchen von 1 mm Länge und 1 mm Breite mit einander verbunden werden; das Plättchen selbst wird durch ein schmales Papierstreifchen festgehalten. Sobald der Strom der Kerze zugeführt wird, geht er durch dieses dünne Kohlenplättchen

Digitized by Google

hindurch und macht dasselbe glühend. Es geht sofort in Dampf auf und es entsteht alsbald zwischen den einander nahestehenden Kohlenenden der Lichtbogen. In Berührung

Fig. 323.

Die Jablochkoff'sche Kerze.

mit der Luft verbrennen dieselben langsam; das Isolirmaterial schmilzt und verwandelt sich in Dampf, der nun

Digitized by Google

weit besser leitend als die atmosphärische Luft bei dem *Volta*'schen Flammenbogen in Verbindung mit den geschmolzenen Materialien eine gut leitende Brücke zwischen den beiden Kohlenstäbchen bildet, auf welcher der Strom ungestört weiter circuliren kann.

Die Fig. 323 zeigt eine solche *Jablochkoff*'sche Kerze der einfachsten Art. Jedes Kohlenstäbchen steckt mit seinem untern Ende in einem Messingröhrchen, und diese Röhrchen sind ebenfalls von einander isolirt. Bei ihrem Gebrauche steckt man die Kerze zwischen die beiden federnden Kupferhülsen eines kleinen, mit Zuleitungsklemmen für den Strom versehenen Stativs, wie man eine Wachskerze auf den Leuchter stellt, und zündet sie an, indem man den Strom hindurchleitet.

Es lassen sich mehrere *Jablochkoff*'sche Kerzen hinter einander an verschiedenen Puncten eines und desselben Stromkreises einschalten; sie leuchten alle nach Maassgabe der Stromstärke, die man zu verwenden hat. Mit einer einzigen Kerze erhält man ein sehr starkes Licht, welches das Licht einer in denselben Stromkreis eingeschalteten Regulirlampe an Intensität übertreffen kann; in dem Maasse, wie mehrere Kerzen eingeschaltet werden, wird das Licht einer jeden Kerze natürlich schwächer, aber es ist in Folge der unter Mitwirkung des Sauerstoffs der Luft vermehrten chemischen Thätigkeit bei der Verbrennung der Kohlenstäbchen und des Isolirmaterials die Summe der Lichtstärken aller Kerzen grösser als die Intensität einer einzigen Kerze.

Dass die isolirende Substanz zwischen den Kohlen auf die Lichtstärke der Kerzen von grossem Einflusse ist, liegt auf der Hand; dieselbe spielt hier eine ähnliche Rolle, wie der Kalkcylinder bei dem *Drummond*'schen Lichte, wo ebenfalls in der Hitze der Knallgasflamme die Kalktheilchen in fein vertheiltem Zustande weissglühend werden und ein blendendes Licht ausstrahlen.

Digitized by Google

Die Erfahrung hat z. B. gelehrt, dass eine Gypslage zwischen den Kohlenstäbchen bei gleicher Stromstärke ein doppelt so starkes Licht gibt, als eine Zwischenlage von Kaolin. Damit die Kerzen gleichmässig abbrennen, müssen die Kohlenstäbchen bei Anwendung von Wechselströmen gleiche Dimensionen haben; bei Anwendung von gleichgerichteten Strömen, wie sie von den dynamo-elektrischen Maschinen von *Gramme*, *Siemens* u. s. w. geliefert werden, muss das mit dem positiven Batteriepole in Verbindung stehende Stäbchen einen doppelt so grossen Querschnitt erhalten als das andere. In dem letzten Falle geschieht indess das Abbrennen der Kerze doch nicht so gleichmässig als bei Anwendung von Wechselströmen, weil die Abnutzung der positiven Kohle in derselben Zeit nicht genau doppelt so gross ist als die der negativen. Es folgt hieraus, dass sich die magnet-elektrischen Maschinen mit Wechselströmen für den Betrieb der *Jablochkoff*'schen Kerzen besser eignen, als die dynamo-elektrischen mit Strömen gleicher Richtung.

Die Kerzen haben verschiedene Längen, doch sind die meisten, wie sie bis jetzt praktische Verwendung finden, 200 bis 225mm lang bei 4mm Durchmesser der Kohlenstäbchen; die mittlere Brenndauer ist $1^1/_2$ Stunden, wenn die isolirende Zwischenlage aus Gyps besteht.

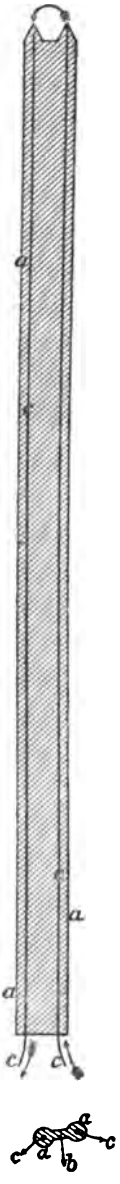
Die Gesellschaft „Societé générale d'Electricité", welche sich speciell mit der elektrischen Beleuchtung nach dem System *Jablochkoff* befasst, verfügt über ein bedeutendes Capital und scheut keine Mittel, fortwährend neue Versuche anzustellen und durch Vereinfachung und geeignete Construction der Kerzen diese Art von Beleuchtung auf den höchsten Grad der Vollkommenheit zu bringen, dessen sie noch bedarf.[1])

Von grossem Interesse sind die Versuche, in denen die Kohlenstäbe durch zwei Metalldrähte ersetzt werden, die zufolge ihrer Homo-

1) Siehe die ausführliche Erörterung dieser Versuche: *Engineering*, Vol. XXXII, Nr. 819—822.

Digitized by Google

Fig. 324.



genität jede Veranlassung zum Auslöschen der Flamme oder einer Veränderung ihrer Lichtstärke fortfallen lassen sollen. Als isolirende Schicht kommt zwischen die beiden Metalldrähte fossiler Kohlenstoff, z. B. Anthracit; das durch den *Volta*'schen Bogen abbrennende und dabei eine Gestalt wie in Fig. 324 annehmende Ende des Anthracits bildet alsdann zugleich einen leitenden Zünder zwischen den beiden Kohlenspitzen, welche das Wiederanzünden der etwa erlöschenden Kerze ermöglicht. Auch zwei einzelne mit Anthracit umgebene Drähte lassen sich zu einer Kerze neben einander stellen. Bei Verwendung von Eisendraht in einer isolirenden Magnesiaschicht tritt zur physicalischen Wirkung noch eine chemische, indem das weissglühende Eisen nach Behauptung der Erfinder die Magnesia zu Magnesium reducirt, das mit starkem Glanze verbrennt und sich wieder oxydirt, wobei es eisensaure Magnesia bildet. In die isolirende Schicht werden zur Erleichterung des Wiederanzündens Metallstückchen, z. B. Zink, bezw. bei der Verbrennung sich reducirende Metalloxyde in einem zwischen 1 und 10% schwankenden Verhältnisse eingemengt. Solche Kerzen sollen sehr langsam brennen, etwa 1 cm per Stunde. Zur Zeit bedient man sich jedoch dieser neuen Kerzen in der Praxis nicht, bedient sich vielmehr der verbesserten Kohlenkerzen, welche nach *Fontaine* bei Anwendung geeigneter Milchglaskugeln mindestens 17 Gasflammen ersetzen dürften.[1])

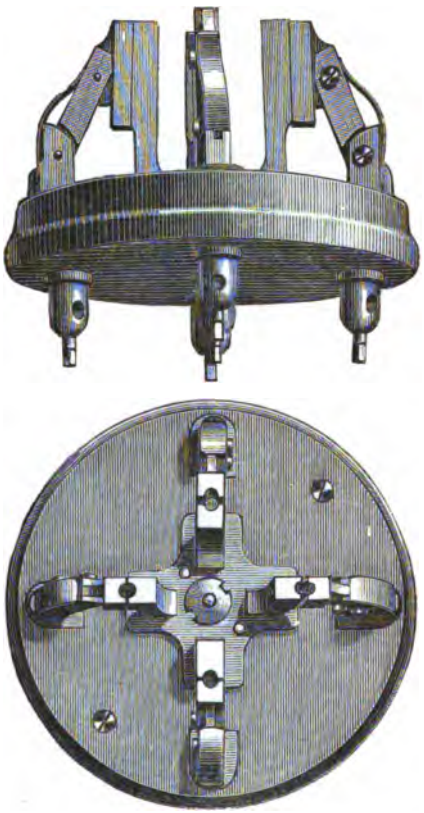
Da jede Kerze durchschnittlich nur 1½ Stunden brennt, aber gewöhnlich die Brennzeit länger dauert, so ist es nöthig, eine Anzahl von Kerzen zusammen zu gruppiren auf eine Art und Weise, dass eine Kerze nach der anderen benutzt werden kann. Es werden Combinationen von Lampenhaltern arrangirt, deren Brenndauer zwischen 1½ bis 16 Stunden variirt. Die Combination von vier Kerzen mit einer Brenndauer von 6 Stunden hat eine ziemlich allgemeine Verbreitung gefunden. Sie entspricht den praktischen Bedürfnissen am besten. Wir beschreiben in

1) *Fontaine*, die elektrische Beleuchtung, p. 236 u. ff.

Digitized by Google

Folgendem ausführlich die Vorrichtungen für die *Jablochkoff*-Lampe mit 4 Kerzen; auf ähnliche Weise lassen sich Lampen für eine beliebige Zahl Kerzen anordnen. Die Lampe besteht im Wesentlichen aus einem Halter oder Sockel für die Kerzen, auf welchen eine ovale Glaskugel passt, und einem Umschalter. Der Sockel trägt auf einer runden Holzplatte die vier Kerzenhalter, deren Form aus Fig. 325 verständlich wird. Die inneren festen Stücke dieser Halter sind durch ein Metallkreuz elektrisch mit einander verbunden. Die äussern federnden Theile sind von einander isolirt und jeder mit einer Klemmschraube in Verbindung.

Fig. 325.



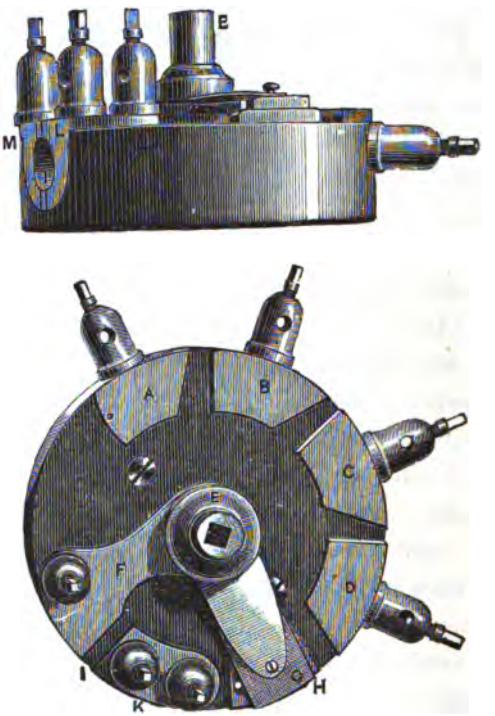
Sockel für vier Jablochkoff-Kerzen.

Zur successiven Einschaltung der vier Kerzen dient ein Vierweg-Umschalter, welcher in der Fig. 326 abgebildet ist. Dieser Apparat besteht aus einer Holzscheibe, an deren Umfang vier kupferne Contactplatten, A, B, C, D, jede mit einer Klemmschraube angebracht sind. Das mittlere Metallstück E ist in Verbindung mit der Klemmschraube F, in welcher der von der Maschine kommende Zuleitungsdraht des elek-

Digitized by Google

trischen Stromes befestigt wird. Die Säule *E* ist drehbar und trägt einen Arm mit einer auf die Unterlage drückenden Stahlfeder, welche in der Figur auf der Platte *H* steht. Mit Hülfe eines Schlüssels, welcher in die viereckige Höhlung der Säule *E* passt, kann der federnde Arm der Reihe

Fig. 326.



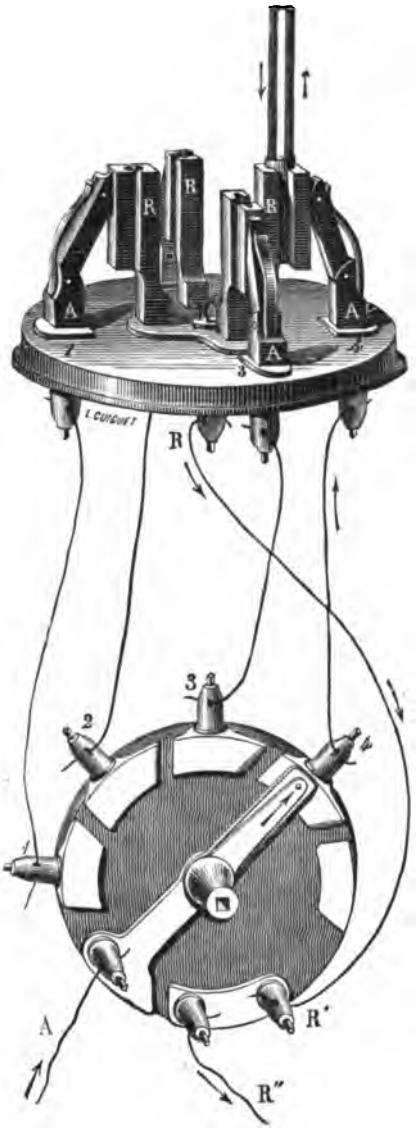
Umschalter für vier Jablochkoff-Kerzen.

nach auf die Contacte *A*, *B*, *C*, *D* gedreht werden. Der Contact *H* ist vollständig isolirt, das Stück *K*, welches zwei Klemmschrauben trägt, kann mit dem Contacte *F* durch einen Stöpsel metallisch verbunden werden, welcher in einen cylindrischen Hohlraum *I* zwischen den Stücken *L* und *M* passt.

Digitized by Google

Fig. 327 zeigt die Verbindung des Sockels mit dem Umschalter, der Strom tritt bei *A* in den Umschalter ein, wird durch den Federcontact auf die Klemmscheibe 4 geleitet, von da in den Sockel der Lampe zur Kerze 4; von dieser zur gemeinschaftlichen Rückleitung *R* zur Klemmschraube *R'* des Umschalters und von da durch den Draht *R''* zur Maschine zurück. Ist die Kerze 4 beinahe abgebrannt, so wird durch Drehung des Federcontactes auf das nächstliegende Contactstück die Kerze 3 eingeschaltet und so fort, bis alle vier Kerzen abgebrannt sind; dann muss die Lampe wieder mit neuen Kerzen versehen werden.

Fig. 327.



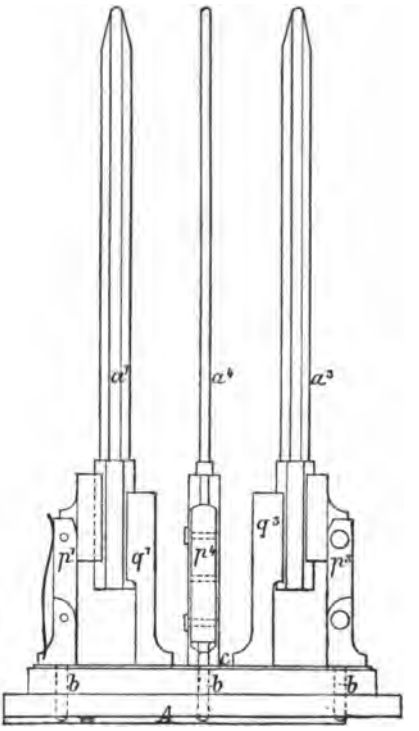
Installation für vier Jablochkoff-Kerzen.

Bei grösseren Installationen vereinigt man vier solche Sockel mit Glasglocke, also 16 Kerzen, zu einem Kreislaufe und lässt zunächst den Strom

Digitized by Google

bloss durch eine Kerze eines jeden Sockels hindurchgehen, so dass jedesmal 4 Kerzen in einem und demselben Strome hintereinander eingeschaltet sind; wenn diese verbraucht sind, setzt man die Commutatoren in Thätigkeit und leitet den Strom in jeder Glocke zu der folgenden Kerze.

Fig. 328.



Halter für vier Jablochkoff'sche Kerzen mit Parallelschaltung. (Seiten-Ansicht.)

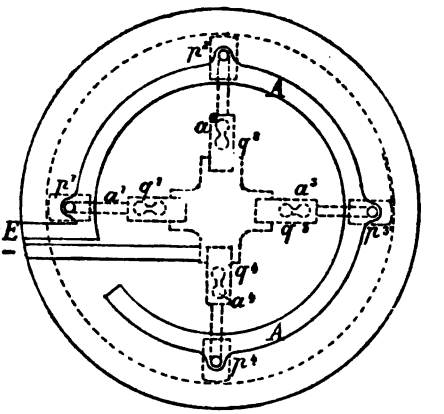
Ein Uebelstand von nicht unerheblicher Art ist mit der Einschaltung mehrerer *Jablochkoff*'schen Kerzen in einen einzigen Stromlauf verbunden; wenn nämlich aus irgend einer Ursache eine Kerze erlischt, so wird der Strom unterbrochen und alle Kerzen desselben Kreislaufes erlöschen zu gleicher Zeit. Dieselben lassen sich dann auch nicht zugleich wieder anzünden, weil das Isolirmaterial sofort fest und nicht leitend wird und weil die leitende Substanz fehlt, welche dem Strom den Durchgang von dem einen Kohlenstäbchen zu dem andern gestattet. Man hat verschiedene Versuche gemacht, diesen Uebelstand ganz zu beseitigen, sowie den sonst angewendeten Commutator zu ersparen, welcher nach dem Verbrennen der einen Kerze eine andere in Dienst stellt.

Einer der erwähnten Versuche stützt sich darauf, dass nie-

Digitized by Google

mals zwei Kerzen einen genau gleich grossen Widerstand haben. Schaltet man daher vier Kerzen mittelst einer Laterne in Parallelschaltung in den Stromkreis, so entzündet sich diejenige, welche den geringsten Widerstand besitzt. Fig. 328 zeigt eine Seitenansicht und Fig. 329 die untere Ansicht einer solchen mit Kerzen a_1 a_2 a_3 a_4 versehenen Laterne. Die Zangen, welche die Kerzen halten, besitzen bewegliche Schenkel p_1 p_2 p_3 p_4, wie Fig. 328 zeigt. Sie stehen in metallischer Verbindung mit einem und demselben Ringe A durch kleine Zwischenstücke b, welche den durch E eintretenden Strom durch diese Schenkel leiten. Der Strom verlässt die Kerzen vermittelst des centralen Sterns C und durch den Metallstreifen (—), wie aus Fig. 329 ersichtlich ist.

Fig. 329.



Halter für vier Jablochkoff'sche Kerzen mit Parallelschaltung. (Untere Ansicht.)

Sobald der Strom die Laterne, d. h. alle Kerzen durchströmt, entzündet derselbe doch nur eine Kerze, und zwar diejenige, welche den geringsten Widerstand bietet, da, wie schon gesagt, die Kerzen, obgleich unter denselben Bedingungen angefertigt, niemals mathematisch genau denselben Leitungswiderstand haben. Löscht aber die eine Kerze in Folge des Abbrennens oder eines andern Umstandes aus, so entzündet der Strom von den drei übrig gebliebenen Kerzen diejenige, welche nunmehr den geringsten Widerstand besitzt u. s. w. Unter Anwendung dieser Methode ist das Auslöschen aller Lampen freilich wohl unmöglich, jedoch bedingt dieselbe

Digitized by Google

einen beträchtlichen Stromverlust, der sich mit einem rationellen und ökonomischen Betriebe nicht vereinigen lässt.

Eine fernere Methode besteht darin, dass man für jede Serie von Kerzen eine besondere Leitung legt und diese Leitungen vom Maschinenhause aus durch einen Umschalter einzeln mit der Maschine verbinden kann. Sobald ein in die Hauptleitung eingeschalteter Signal-Apparat das Aufhören des Stromes anzeigt, welches beim Erlöschen einer Kerze eintritt, wird durch Drehen des Umschalters eine zweite Serie von Kerzen eingeschaltet. Bei dieser Disposition können allerdings keine grossen Beleuchtungspausen entstehen, wohl aber kleinere. Ferner bedingt dieselbe die permanente Anwesenheit des Maschinisten; auch ist mit ihr eine grosse Verschwendung von Kohlen und noch mehr von Leitungsmaterial verbunden, welche das System bei grösseren Distanzen enorm theuer macht.

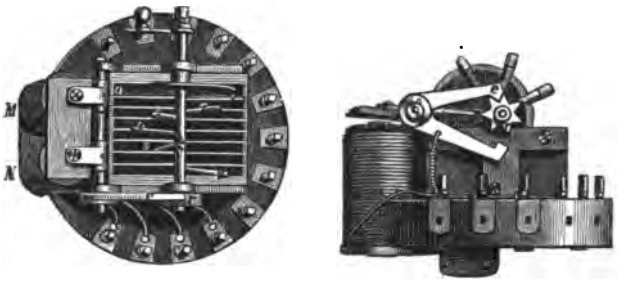
Die eben dargestellte, in London mehrfach angewandte Methode hat kürzlich eine Modificirung erfahren, welche sich bei der Beleuchtungsanlage im Hafen von Havre gut bewährt hat. Hier hat man nämlich nur zwei gesonderte Leitungen durch die Lampen geführt, dagegen im Fuss der Candelaber Stöpsel-Umschalter angebracht, welche die beiden anderen Leitungen ersetzen. Im Maschinenhause befindet sich demnach ein Umschalter mit zwei Contacten. In die Hauptleitung ist ein Elektromagnet eingeschaltet, welcher während der Stromdauer den Stromkreis einer gewöhnlichen Alarmglocke öffnet. Tritt im Laufe der Beleuchtung eine Unterbrechung des Stromes ein, so wird der Maschinist durch die Glocke hierauf aufmerksam gemacht. Derselbe dreht dann sofort die Kurbel des Umschalters und schaltet dadurch die zweite Serie von Kerzen ein. Es geht hierauf ein Arbeiter nach den Candelabern und vollzieht eine Stöpselung derart, dass bei eventuellem Zurückdrehen der Umschaltekurbel die dritte Serie Kerzen anbrennt. Ist die dritte Serie

Digitized by Google

in Betrieb genommen, so wird wieder eine Umstöpselung vollzogen, und es ist nun die vierte Serie in Bereitschaft und brennt an, sobald die Kurbel wiederum gedreht wird. Diese Disposition leistet also fast dasselbe bei geringerm Verbrauche an Leitungsmaterial.

Neuerdings gestaltet sich die Installation mit *Jablochkoff*'schen Kerzen wiederum anders, insofern die Einschaltung der Kerzen fast automatisch geschieht. Die Kerzenhalter haben eine ähnliche Gestalt wie in Fig. 328; die äusseren beweglichen Theile der Zangen sind durch einen Ring mit einander und mit einer Klemme leitend verbunden; die inneren festen Theile sind jedoch im Unterschied von Fig. 329 von einander isolirt, einzeln mit Klemmen verbunden und insofern geändert, als auf dem untern äussern Ende derselben ein aus Stahl und Kupfer verfertigter Compensationsstreifen befestigt

Fig. 330. Fig. 331.



Automatischer Commutator der Jablochkoff-Kerzen.

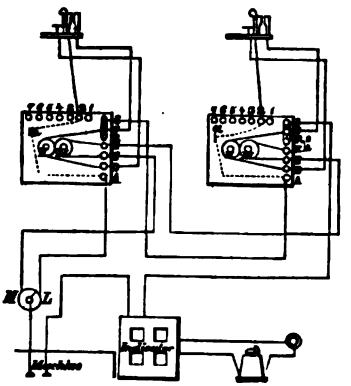
ist. Dieser wird durch die Nähe des *Volta*'schen Flammenbogens, bevor die Kerze ganz verzehrt ist, in Folge der gesteigerten Temperatur von dem festen Zangentheile sich abheben und damit einen mitten auf dem Kerzenhalter befestigten, sternartig gebildeten Contact berühren, wodurch die abgebrannte Kerze stromlos wird.

Mit jedem Kerzenhalter ist ein automatischer Commutator (Fig. 330 und 331) verbunden, so zwar, dass von ge-

Digitized by Google

wissen Klemmen desselben Leitungsdrähte zu den festen Theilen der Zangen führen. Der Commutator besteht, wie Fig. 330 (Grundriss) zeigt, aus acht, Quecksilber enthaltenden Gefässen, welche von einander isolirt neben einander stehen. In das äussere Gefäss *a* taucht eine Scheibe, mit welcher eine in zwei Lagern ruhende Welle *w* befestigt ist. Diese trägt auf dem längern Theile 7 Arme, von denen bei richtigem Niveau des Quecksilbers stets nur ein einziger in das correspondirende Quecksilberbad eintaucht. Auf dem kleinern Theile der Welle *w* ist eine Nadel befestigt, welche mit

Fig. 332.



Complete Installation von Jablochkoff-Kerzen mit automatischem Umschalter.

Hülfe eines auf dem den Commutator umschliessenden hölzernen Gehäuse angebrachten graduirten Kreises denjenigen Stab angibt, welcher zur Zeit ins Quecksilber taucht. Die Rotation der Welle erfolgt durch ein Echappement *e* und ein 7zähniges Rad *r*, welche, wie die Fig. 330 und 331 zeigen, durch die Elektromagnete *N* und *M* in Bewegung gesetzt werden können, sobald der Anker an- oder abgezogen wird.

Die Installation erfolgt nun folgendermaassen (vgl. Fig. 332): In der Nähe der dynamo-elektrischen Maschine ist

Digitized by Google

mit dem aus ihr führenden Leitungsdrahte ein zweiwegiger Commutator *L* angebracht, dessen Contact im gewöhnlichen mit der Klemme *A* des Commutators in Verbindung steht. Von *A* führt ein Draht den Strom zu dem Gefäss *a*, der Scheibe, der Welle und demjenigen Stabe, etwa dem *n*ten, welcher eben in das zugehörige Quecksilberbad taucht. Da nun diese Bäder einzeln mit den Klemmen leitend verbunden sind, von welchen bereits oben gesagt wurde, dass sie mit den festen Theilen der Kohlenhalter in Verbindung stehen, so fliesst der Strom von dem *n*ten Bade zur *n*ten Kerze der ersten Laterne, durch diese hindurch zu dem beweglichen Theile der Zange und der die beweglichen Zangentheile verbindenden Klemme, welche ihrerseits mit der Klemme *C* des Commutators verbunden ist. Letztere steht aber in Verbindung mit der Klemme *S*, von welcher aus die Leitung zur zweiten Laterne führt, wo der Strom einen gleichen Weg zu durchfliessen hat. Ist die zweite Laterne, wie in der Fig. 332 angenommen ist, auch die letzte, so führt von der Klemme *S* eine Leitung zur Maschine zurück.

Der geschilderte Vorgang erfolgt nur so lange, als jede Kerze gut brennt. Wenn jedoch eine Kerze (etwa der ersten Laterne) nahezu abgebrannt ist, so biegt sich der entsprechende Compensationsstreifen zurück und stellt den Contact des festen Theiles der Zange mit dem sternartigen Leiter her. Alsdann findet der Strom zwei Wege: den einen von dem festen Zangentheile zu dem beweglichen Theile durch die erlöschende Kohle hindurch — den zweiten von dem festen Zangentheile sofort zu dem Sterne hin. Letzterer bietet natürlich weniger Widerstand, und so geht der grösste Theil des Stromes den zweiten Weg, welcher zur Klemme *D* des Commutators, von hier zu dem Elektromagnet *N* und von diesem zur Klemme *C* führt, von wo ab der Strom in der alten Bahn fliesst. Sobald aber der Strom den

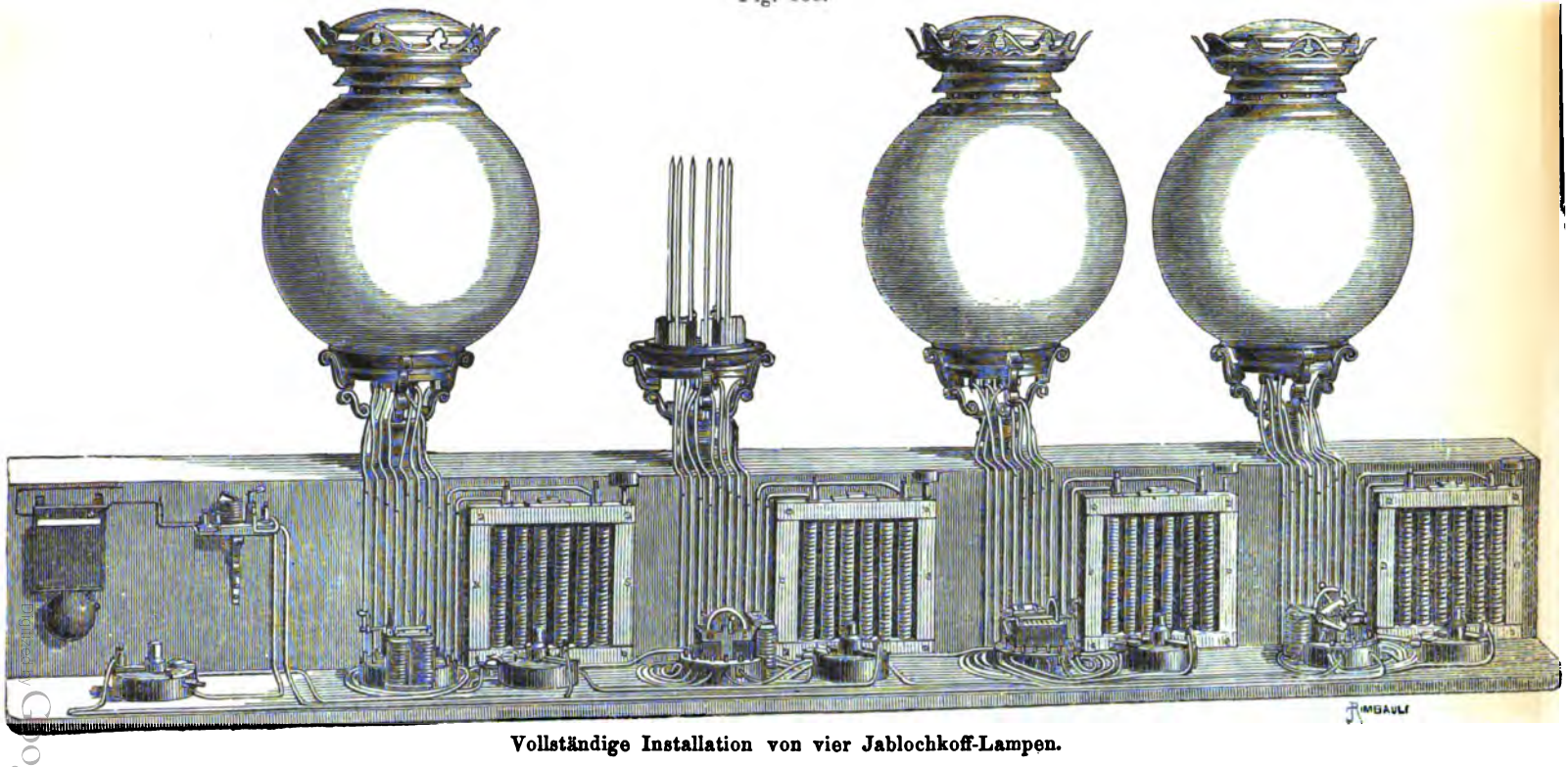
Digitized by Google

Elektromagnet *N* umfliesst, zieht derselbe die Armatur an, das Echappement *e* hebt sich und treibt das Zahnrad *r* um einen Zahn weiter. Dadurch wird der *n*te Stab aus seinem Bade gehoben, der folgende, der *n* + 1te Stab hingegen in sein Bad getaucht, welches mit der *n* + 1ten Kerze derselben Laterne in Verbindung steht. Sobald auf diese Weise der Strom von der *n*ten Kerze abgeschnitten und zur *n* + 1ten Kerze hingeleitet wird, fliesst derselbe natürlich den alten Weg, da bei der *n* + 1ten frischen Kerze der Compensationsstreifen dicht an dem festen Zangentheile anliegt und nur die Kerze als Stromweg offen steht. Damit hört also der Strom auf, den Elektromagnet *N* zu umfliessen, die Armatur hebt sich und das Echappement *e* hemmt das Rad *r*, wonach dieses nur eine Drehung eines Siebentel des Kreises machen kann. Es ist hieraus ersichtlich, wie beim Abbrennen einer Kerze einer beliebigen Laterne die Einschaltung einer neuen Kerze und somit der Stromschluss automatisch erfolgt.

Anders ist es aber, wenn eine Kerze unzeitig erlischt, da dann in Folge zu grosser Entfernung des *Volta*'schen Bogens von der Zange bezw. dem Compensationsstreifen die Temperatur des letztern noch nicht hoch genug ist, als dass der Streifen schon den Contact mit dem Stern herstellen könnte. Der Strom würde also unterbrochen und alle Kerzen erlöschen, wenn nicht in anderer Weise durch eine Alarmglocke dafür gesorgt wäre, dass der Wärter von dem unzeitigen Erlöschen der Kerze sofort benachrichtigt würde. Dann dreht derselbe sofort einfach den Commutator einen Moment um, wodurch der Strom, wie die Fig. 332 deutlich zeigt, durch die Elektromagnete *M* sämmtlicher Laternen und schliesslich zur Maschine geleitet wird. Dieses ist dadurch möglich, dass bei der letzten Laterne die Klemmen E_2 und R_2 mit einander verbunden sind. Wie oben beschrieben, ziehen nun die Elektromagnete *M* die Armaturen an und schalten dadurch neue Kerzen ein. Sowie also der

Digitized by Google

Fig. 333.



Vollständige Installation von vier Jablochkoff-Lampen.

Digitized by Google

Wärter den Commutator L in die alte Lage zurückbringt, geht der Strom durch die neuen Kerzen, wonach, da die Handlung äusserst rasch erfolgen kann, eine event. eintretende Dunkelheit nur von kurzer Dauer sein kann.[1])

Fig. 333 zeigt die Ansicht einer completen Installation von vier *Jablochkoff*-Lampen mit allen Hülfsapparaten. Jede Lampe enthält sechs Kerzen. Es bleibt beim automatischen Commutator noch ein siebentes Quecksilbergefäss frei und mit diesem wird gewöhnlich ein Widerstand verbunden, der gleich ist demjenigen einer Kerze. Wenn alle sechs Kerzen abgebrannt sind, schaltet sich automatisch dieser Widerstand ein; hierdurch wird erreicht, dass, wenn zufällig eine Lampe ganz ausgebrannt ist, die übrigen doch ruhig weiter brennen.

Es wurde bereits gesagt, dass die *Jablochkoff*'schen Kerzen sich gegenwärtig einer sehr ausgebreiteten Anwendung erfreuen, aus dem einfachen Grunde, weil sie ohne weitere Hülfsmittel den elektrischen Lichtbogen erzeugen und zu seiner Erhaltung keinerlei Regulirungsvorrichtung bedürfen.

Während früher die *Jablochkoff*-Kerzen das einzige praktisch brauchbare elektrische Licht lieferten, verlieren sie in neuerer Zeit um so mehr an Bedeutung, je besser die Construction einer einfachen guten Bogenlampe gelingt. Immerhin sind gegenwärtig noch über 4000 Kerzen im Betrieb. Betreffend die von diesen Kerzen gelieferte Lichtstärke verweisen wir auf die Resultate des Comités der Pariser elektrischen Ausstellung, welche wir am Schlusse dieses Abschnitts mittheilen.

134. Die elektrische Kerze von Jamin. Zur Beseitigung des Wärmeverlustes, der mit dem Schmelzen des die Kohlen der beiden Kerzen trennenden Isolirungsmittels verbunden ist, und zur Beseitigung der Störungen im ruhigen Brennen

1) Vgl. Engineering The *Jablochkoff* system of electric lighting. Vol. XXXII, Nr. 821, p. 299 u. ff.

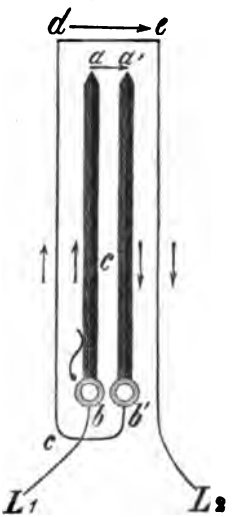
Digitized by Google

der Kerze, welche daher rühren, dass das Isolirungsmittel nicht genau in demselben Verhältniss verflüchtigt wird, wie die Kohlen abbrennen, haben mehrere Erfinder Kerzen construirt, in denen das feste Isolirungsmaterial wegfällt und durch eine Luftschicht ersetzt wird. *Rapieff*, *Siemens*, *Nysten*, *De Meritens*, *Thurston*, *Wilde*, *Morin*[1]) und andere haben auf diese Weise die elektrische Kerze vereinfacht; doch scheint es nicht, dass diese Verbesserungen von grossem praktischem Werthe gewesen sind.

Von grösserer Bedeutung schien die von *Jamin* construirte elektrische Kerze zu werden, über welche der Erfinder selbst der Pariser Akademie der Wissenschaften am 17. März 1879 Folgendes mitgetheilt hat:

„Der elektrische Lichtbogen, der zwischen zwei Kohlenspitzen erscheint, ist ein wirklicher elektrischer Strom. Unterwirft man ihn dem Einflusse eines benachbarten Stromes, eines Solenoids oder eines Elektromagnets, so äussern diese eine Einwirkung, die den *Ampère*'schen Gesetzen entspricht und mit derjenigen identisch ist, welche sie auf einen an die Stelle des Lichtbogens gebrachten metallischen Leiter ausüben würden. Da aber die Masse der Materie, welche den Lichtbogen bildet, ausserordentlich gering ist, so folgt er auch den äusseren Einflüssen sehr leicht; man kann ihn anziehen, abstossen, an einem Puncte festhalten, ihn drehen, kurz, alle Versuche mit ihm anstellen, die man mit den beweglichen, von einem Strome durchlaufenen metallischen Leitern in der Physik anstellt . . . .

Fig. 334.



El. Kerze von Jamin.

Ich bringe zwei Kohlen *a b*, *a' b'* (Fig. 334), die mit den Polen einer Batterie oder einer *Gramme*'schen Maschine in Verbindung stehen, nebeneinander an und bilde bei *C* mittelst eines kleinen Kohlenstäbchens den Lichtbogen, indem ich beide Kohlen erst berühre und das Stäbchen dann entferne. Ich bringe hierauf hinter *C* den Nordpol oder vor *C* den Südpol eines Magnets oder auch beide zugleich. Es

1) Lumière électrique t. IX, p. 146.

Digitized by Google

ist bekannt, dass nach dem Gesetze von *Biot* und *Savart* das Strom-Element *C* sich nach rechts von dem betrachteten Nordpol bewegen muss, und dieses zeigt der Versuch auch wirklich dadurch, dass sich der Lichtbogen sofort bis zur Basis *b b'* der beiden Kohlen bewegt, dagegen aufwärts bis zur Spitze *a a'* steigt, wenn man den Magnet umdreht. Er bleibt dann stehen, aber er verändert seine Form, krümmt sich und breitet sich unter ziemlich starkem sonorem Brummen in Blattform aus. Ist der Magnet stark genug, so erscheint der Bogen wie von unten nach oben geblasen, nimmt die Form einer langgestreckten Flamme an und verschwindet dann ganz.

Dasselbe Resultat erhält man, wenn man die beiden Kohlen mit einem Rechteck *c d e L*s umgibt, welches von demselben Strome durchflossen wird. Jeder Theil dieses Rechtecks trägt (nach den dynamischen Gesetzen der elektrischen Ströme) dazu bei, den Lichtbogen anzuziehen und in die Höhe zu bringen, wenn der Strom in den Kohlen, dem Lichtbogen und dem Rechteck dieselbe Richtung hat, oder ihn abzustossen und herunterzudrängen, wenn diese Richtungen entgegengesetzt sind. Je mehr Windungen man dem äussern Drahte gibt, um so kräftiger wirkt er auf den Lichtbogen anziehend oder abstossend; vier Windungen genügen jedoch, um denselben in *a a'* zu fixiren und an den Kohlenspitzen festzuhalten, welche Lage man auch den Kohlen selbst geben mag, auch wenn man sie nach unten richtet.

Hiernach ist klar, dass man den Bogen in *a a'* d. h. in den Enden der Kohlen festhalten und das isolirende Zwischenmaterial entbehren kann. Wendet man einen continuirlichen Strom von gleichbleibender Richtung an, so strahlt die positive Kohle immer mehr Licht aus und nutzt sich schneller ab als die negative; dabei bleibt der Lichtbogen an ihrer Spitze und rückt mit dieser allmählich tiefer herab. Die negative Kohle brennt nur an der inneren, der anderen Kohle zugewandten Seite, ab; sie wird immer dünner, aber sie behält ihre ganze Länge, so dass sie zum zweiten Male verwendet werden kann. Bei Anwendung von Wechselstrom-Maschinen bleibt der Lichtbogen ebenfalls an der Spitze der Kohlen; diese brennen dann, wie bei der *Jablochkoff*'schen Kerze, gleichmässig ab und sind immer gleich lang.

Um den ersten Lichtbogen zwischen den Kohlen zu erzeugen, versehe ich diese an ihrem untern Ende mit zwei Gelenken *b b'*, um welche sie sich ein wenig drehen können, und mit einer Feder, welche sie an der Spitze mit einander in Berührung bringt. Geht nun ein Strom durch die Kohlen und das Drahtrechteck, so stossen sich erstere ab, weil sie von parallelen und entgegengesetzten Strömen durchlaufen werden. Ausserdem zieht *c d* die Kohle *a*, *e L*$_2$ die Kohle *a'* an, wogegen *c d* die Kohle *a'* und *e L*$_2$ die Kohle *a* abstösst. In Folge dieser einfachen Wirkung trennen sich die Kohlen sofort von einander und bilden beim ersten Durchgange des Stromes den Lichtbogen; so

Digitized by Google

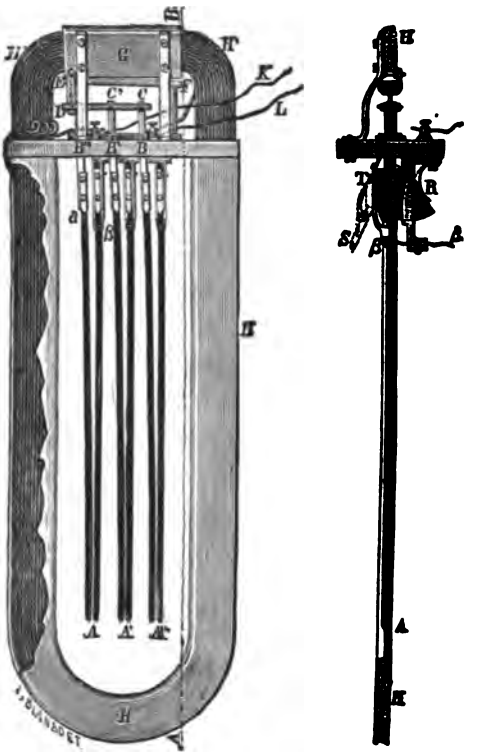
lange der Strom andauert, bleiben die Kohlen in der richtigen Entfernung von einander und kommen erst wieder zur Berührung, wenn der Strom aufhört zu circuliren. Das Ganze bildet daher eine ganz automatische Kerze, die nur einen einfachen Sockel erfordert; das Anzünden, die Regulirung des Lichtbogens auf die richtige Länge und das Erhalten des Bogens an den Enden der Kohlen erfolgen bloss unter der Einwirkung elektromagnetischer Kräfte. Es ist klar, dass diese Kräfte dem Quadrat der Stromstärke proportional sind und immer hinreichend stark gemacht werden können."

Jamin erhielt durch Herrn *Duvrier*, Präsidenten der Société du Crédit industriel et commercial, bedeutende, ja unbegrenzte Unterstützung und war daher in der Lage, fortwährend vielfache Untersuchungen und Experimente anstellen zu können. Diese führten ihn schliesslich zur Construction einer praktisch verwerthbaren Lampe, über welche er am 31. Mai 1880 der Pariser Akademie Bericht erstattete. Dieselbe (Fig. 335) besteht aus einer Schieferplatte, welche in Kugeln oder Laternen befestigt wird. Die Platte trägt nach unten eine tiefe aber schmale kupferne Rinne HHH, nach oben eine Rinne G aus weichem Eisen. In diesen Rinnen ist ein feiner Kupferdraht 15—20 mal aufgewunden, welcher den richtenden Schliessungsbogen bildet und die Ebene (E) bestimmt, in welcher die Kohlenstiftpaare befestigt sind. Zwischen den Kohlenstiften ist keine isolirende Substanz vorhanden; ein jeder steckt mit der Spitze nach abwärts gerichtet in einer kupfernen Hülse. Die Träger, welche die zur Rechten befindlichen Kohlen der Paare tragen sollen, sind vertical befestigt und mit einander leitend verbunden. Die Träger der anderen Stifte a aber sind so eingerichtet, dass die drei Stifte gleichzeitig in der Ebene E um gegebene Drehpuncte gedreht und ungleichzeitig senkrecht zur Ebene E verstellt werden können. Jenes wird dadurch erreicht, dass die Kohlenträger in den Gelenken $B\,B'\,B''$ frei beweglich hängen und oberhalb der letzteren durch einen Querstift $C\,C'\,C''$ verbunden sind, welcher selbst wiederum mit dem zweiarmigen Hebel $D\,E\,F$ in Verbindung

Digitized by Google

steht, den Drehungen desselben um E nachgibt und so bewirkt, dass die Kohlenträger sich um die Gelenke B B' B'' drehen. Ein solcher Träger trägt ferner an der hinteren Seite ein Gelenk T, um das der Kohlenhalter S senkrecht zur Ebene E verstellt wird, sobald derselbe dem Drucke

Fig. 335.



Jamin's elektrische Kerze.

der Feder R nachgeben kann; dieses kann nicht geschehen, solange der Kohlenhalter in der Verticalen durch einen Messingdraht $\beta\,\beta$ gehalten wird, der an einem Ende hakenförmig umgebogen ist und mit starker Reibung durch eine Kluppe geht, wo eine Feder auf ihn drückt.

Digitized by Google

Die Platte *E F*, welche vor der Rinne *G* liegt, zieht, der obigen Einrichtung gemäss, durch ihr Gewicht den Querstift *C C'* nach links, die unteren Enden der beweglichen Kohlenstäbe also nach rechts, so dass der längste derselben den ihm zur Rechten hängenden festen Kohlenstab berührt. Schaltet man daher die *Jamin*'sche Kerze in einen Stromkreis ein, so durchläuft der elektrische Strom den richtenden Schliessungsbogen, die beweglichen Kohlen und die feste Kohle, welche mit einer beweglichen Kohle in Berührung steht. Zugleich tritt aber auch die Magnetisirung der Rinne *G* ein, die Platte *E F* wird angezogen, die Kohlenpaare entfernen sich von einander, so dass an dem einen Kohlenpaare der Lichtbogen sich entfaltet. Er verbleibt daselbst so lange, als Kohlenmaterial vorhanden ist, da er durch die Einwirkung des richtenden Schliessungsbogens festgehalten wird und wieder zurückgeht, wenn ihn eine störende Ursache davon entfernte. Ist aber die Kerze bis oben abgebrannt, so wird durch die Hitze der Draht $\beta\ \beta$ abgeschmolzen; der eine Kohlenhalter entfernt sich aus der Verticalen, die beiden Kohlen werden plötzlich von einander entfernt und der Lichtbogen erlischt. Damit hört aber auch der Strom auf zu circuliren. Die Platte *E F* fällt alsdann herab und dadurch wird wiederum der Contact zwischen der längsten der noch vorhandenen beweglichen Kohlen und der zugehörigen festen Kohle hergestellt, der Strom circulirt von neuem, die Kohlen entzünden und entfernen sich alsdann wieder, wie das erste Mal. Die Entzündung geschieht also automatisch und kann nach Belieben hergestellt werden; sie geschieht so rasch, dass man kaum den Wechsel und gar keine Schwächung der anderen Lampen in dem gleichen Schliessungsbogen wahrnimmt.

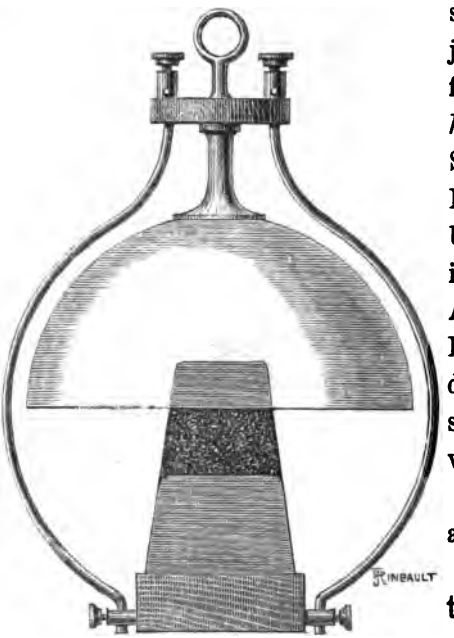
Nach dem Berichte *Jamin's* vereinigt die Lampe mehrere wesentliche Eigenschaften in sich: „Sie kann beliebig oft gelöscht und wieder angezündet werden; sie erfordert für alle

Digitized by Google

benachbarten Kerzen nur einen einzigen Schliessungskreis; sie ersetzt automatisch die vollständig verbrannten Kohlen durch neue; sie erfordert keine isolirende Substanz, durch deren Beschaffenheit die Farbe der Flammen geändert werden könnte, noch hat sie irgend eine Vorbereitung der Kohlen nöthig, wodurch die Kosten beträchtlich vermindert werden."

Trotz dieser vielen zahlreichen Vortheile ist es den *Jamin*'schen Kerzen doch noch nicht gelungen, eine nennenswerthe Verbreitung zu erringen oder gar den *Jablochkoff*-Kerzen ernstliche Concurrenz zu machen. Der Grund liegt wohl darin, dass dieselben wenigstens bis jetzt weder die Einfachheit der *Jablochkoff*-Kerzen noch die Sicherheit der neuen Regulirlampen besitzen. Ueber ihre Lichtstärke ist das am Schlusse dieses Abschnittes befindliche Resultat der Commission der Elektrischen Ausstellung in Paris zu vergleichen.

Fig. 336.



Lampe von Andrew.

Zu den Kerzen muss auch

135. Andrew's elektrische Lampe gerechnet werden. [1])

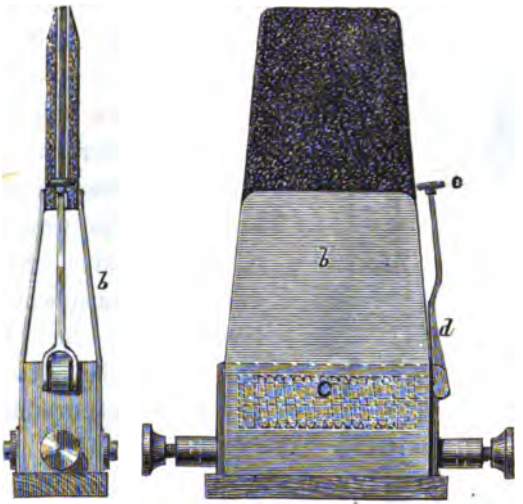
Dieselbe besteht aus drei trapezförmigen Kohlenplatten, die mit ihren Seitenflächen

1) Z. f. a. E. III, p. 167.

Digitized by Google

einander gestellt sind. Von der mittleren ($^1/_{32}$'' dick) sind die beiden äusseren ($^1/_8$'' dick) an den unteren Kanten durch Schieferplatten getrennt. Die drei Kohlenplatten werden mitsammt den Schieferplatten von zwei Federn *b* fest zusammengehalten, welche zudem den Strom zu den äusseren Platten führen. Die Entzündung der Lampe geschieht durch einen unterhalb der Platten senkrecht befestigten stabförmigen Elektromagnet *c*, welcher,

Fig. 337.



Die Vorrichtung zum Anzünden der Lampe von Andrew.

vom Strome durchflossen, einen zu seiner unteren Fläche gehörigen, rechtwinkelig gebogenen, hebelartig befestigten Anker *d* anzieht und hierdurch ein Stückchen Kohle *c* fortzieht, welches im gewöhnlichen die äusseren Platten unten berührt und somit verbindet. Alsdann erscheint der Bogen und bewegt sich, da die Platten an der Seite, wo das Kohlenstückchen anlag, schräg abgeschnitten sind, langsam nach den oberen Kanten der Kohlenplatten. Diese verzehren dann wie eine Kerze; die mittlere Platte

Digitized by Google

Fig. 338.

Rapieff's elektrische Lampe.

verbrennt in gleicher Weise und verhindert, dass der Lichtbogen die Kanten der Platten verlässt und sich in das Innere begibt. Die Haupteigenthümlichkeit der Lampe besteht darin, dass eine einmalige Beschickung von Kohlen etwa 70 Stunden brennt, die Lampe somit nur einmal in der Woche bedient zu werden braucht. Das Licht derselben soll ein ruhiges sein.

Die Kerzen von *Jablochkoff* und *Jamin* werden von *Uppenborn* recht passend als Lampen betrachtet, bei denen die Constanz der Elektroden-Entfernung durch mathematische Construction gegeben ist. Es lag in der That nahe, den gleichförmigen Zwischenraum zwischen den Kohlenstäben unter Ausschluss jedes physicalischen Hülfsapparates durch rein mathematische Constructionen anzustreben. Dies versuchte unter anderen auch *Rapieff*.

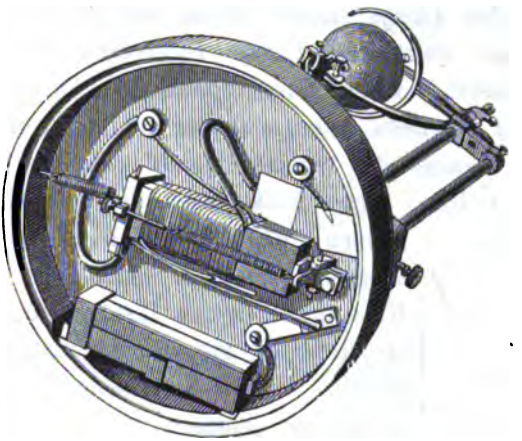
136. Die Lampe von Rapieff.[1]) Die Lampe von *Rapieff* besitzt vier Kohlen, welche zu zweien gruppirt die beiden Pole bilden. Der obere Pol wird aus zwei Kohlenstäben hergestellt, die unter einem spitzen Winkel gegen

1) Dinglers Pol. J., Bd. 230, p. 186. Fontaine p. 17.

Digitized by Google

einander geneigt sind und an ihren Endpuncten sich berühren. Diese beiden Kohlen bilden ein *V*. Auch die beiden unteren Kohlen stossen unter einem spitzen Winkel zusammen, aber in einer Ebene, welche senkrecht zu derjenigen der oberen Kohlen steht. In dem Maasse, als die Kohlen abbrennen, werden dieselben nachgeschoben durch Schnüre, welche mit passender Rollenführung versehen und mit einem Gewichte gespannt sind, wie dies am besten aus der Fig. 338 entnommen werden kann. Der untere Kohlenhalter besitzt bei *O* ein Gelenk, das durch eine Gelenk-

Fig. 339.



Fuss der Lampe von Rapieff.

stange in Verbindung steht mit dem Anker eines Elektromagnets, der im Sockel der Lampe angebracht und in Fig. 339 abgebildet ist. So lange die Lampe stromlos bleibt, berühren sich die vier Kohlen; im Momente, wo ein Strom die Lampe und den Elektromagnet durchfliesst, zieht der letztere seine Armatur an und in Folge dessen werden mit Hülfe einer passenden Uebersetzung die beiden Kohlenpaare von einander entfernt und der Lichtbogen gebildet. Je nachdem der Anker des Elektromagnets eine mehr oder

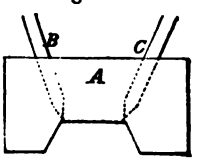
Digitized by Google

weniger grosse Bewegung ausführen kann, wird der Lichtbogen länger oder kürzer. Man regulirt diese Bewegung durch eine Spiralfeder, welche man mehr oder weniger stark spannt. Obgleich die Anordnung der Lampe sehr einfach ist, sind doch zur guten Functionirung derselben mehrere Bedingungen zu erfüllen. Vor allem sind vier ganz gleiche homogene Kohlenstäbe erforderlich, so dass die Lampe bisher nur eine beschränkte Verbreitung gefunden hat.

Heinrichs benutzt statt der geraden kreisförmig gebogene Kohlenstäbe, deren Herstellung noch ungleich schwieriger ist.

137. Die Lampe Soleil. Schon im Jahre 1848 hatte *Staite* eine elektrische Lampe construirt, die aus zwei Kohlen bestand, welche durch Spiralfedern an einem Stück Kalk oder Magnesia gegen einander gepresst wurden. Bei dem Durchgange des Stromes bildete sich der *Volta*'sche Lichtbogen längs dieses Kalkstückes und brachte es zum Glühen, wodurch die Kraft des Lichtes vergrössert wurde, indem der glühende Kalk theils eigenes Licht aussandte, theils als Reflector für den Lichtbogen wirkte. Seither wurden verschiedene andere Anordnungen ersonnen, so von *Le Roux*, *de Bacllchasche*, *Delaye*. Die Anordnung des Letztern war unter dem Namen Solarlampe auf der elektrischen Ausstellung in Paris in Betrieb. Sie besteht aus zwei parallelen dünnen Kohlenstäben, welche gegen ein Stück von reflectirendem Material stossen. Wenn der Lichtbogen zwischen den Kohlenenden sich bildet, so werden sowohl die Enden der Kohlen wie das reflectirende Material, welches gewöhnlich aus Magnesia besteht, glühend und geben dem Lichte eine goldene Farbe.

Fig. 340.



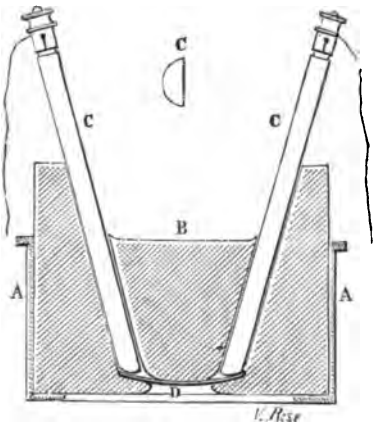
Schema der Lampe Soleil.

Die Lampe Soleil beruht auf einem ähnlichen Princip. Sie wurde im Jahre 1879 von *Clerc & Bureau* erfunden.

Digitized by Google

Zwei Kohlenstäbe *C* werden in einer Neigung von circa 15° in zwei aus Steinblöcken *A B* (Fig. 341) gebildete Canäle geführt, in denen sie in Folge ihres eigenen Gewichtes abwärts gleiten, bis sie am untern Ende der Canäle auf Vorsprünge der Steinblöcke *A* aufstossen. Hier ist die Entfernung der Kohlenspitzen gerade so gross, dass der Lichtbogen zwischen denselben bestehen kann. Diese Distanz ist grösser als beim gewöhnlichen Lichtbogen, weil letzterer längs des Blockes *B* eine Führung *D* (*C* in Fig. 342) findet, einerseits

Fig. 341.



Lampe Soleil. (Querschnitt.)

durch die glühende Oberfläche des Blockes *B* selbst und andererseits durch die von derselben erhitzte Luftschicht.

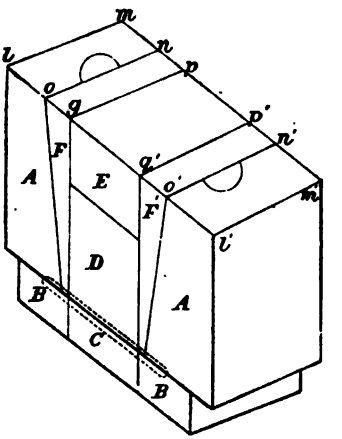
Die Zusammensetzung des Blockes ist aus Fig. 342 ersichtlich. *A A* sind die Marmorblöcke, welche zur Führung der Kohlenstäbe mit halbkreisförmigem Querschnitt dienen.

Die Kohlen berühren mit ihren Spitzen die Unterlagen *B B* (Fig. 342) aus Granit. Diese beiden Granitplatten schliessen einen Block *D* aus weissem Marmor ein, welcher mit einem andern Block *E* aus beliebiger Steinart zur Ausfüllung bedeckt ist. Diese verschiedenen Stücke

Digitized by Google

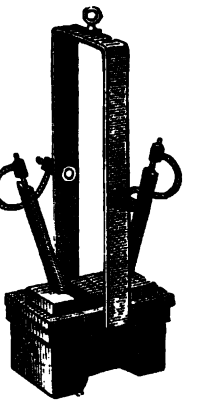
werden in einem Eisengestell mittelst Schrauben zusammengehalten (Fig. 343) und durch zwei Keilstücke *F F'* (Fig. 342), die den Kohlenhaltern *A A* angefügt sind, ergänzt. Die das Licht nach unten ausstrahlende Oeffnung des Marmorblockes reicht bis zur Oberfläche der Granitplatten, welche in einer schmalen Rinne einen sehr dünnen Kohlenstab *D* (Fig. 341) in horizontaler Lage tragen. Beim Eintritt des elektrischen Stromes verbrennt zunächst dieser Kohlenfaden und erfüllt daher hier dieselbe Function wie bei der Kerze von *Jablochkoff*, indem

Fig. 342.



Block zur Lampe Soleil.

Fig. 343.



Armatur zur Lampe Soleil.

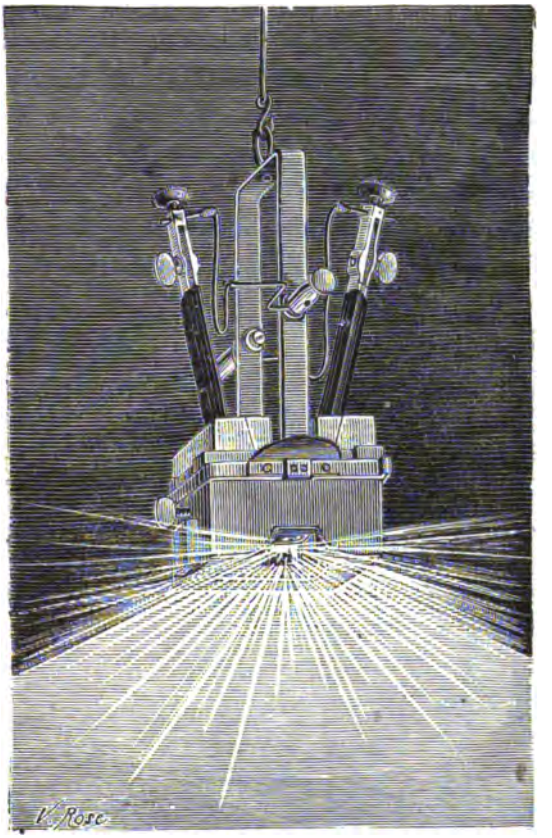
er als Mittel dient, den Lichtbogen zwischen den von einander getrennten Kohlenstäben herzustellen. Die sehr harten Kohlenstäbe gleiten nach Maassgabe des Verbrauchs an den Spitzen langsam vorwärts.

Um die Oekonomie einer Lampe zu beurtheilen, sind insbesondere zwei Puncte zu berücksichtigen, die Kosten der Kraft, welche die Lampe verbraucht, und die Kosten der Lampe selbst. Zahlreiche Experimente haben gezeigt, dass die Soleil-Lampe mehr Kraft braucht als viele Bogenlampen,

Digitized by Google

die verhältnissmässig mehr Licht liefern. Die Kosten der Lampe bestehen aus dem Werthe der verbrannten Kohlen und dem Preise der Marmorblöcke. Der Verbrauch der Kohlen ist sehr minim, dagegen kommt in erster Linie in Betracht der Preis der Marmorblöcke. Ein einzelner

Fig. 344.



Lampe Soleil in Function.

Satz hält 80 Stunden und kostet 50 Pfg. Die nächste Frage wäre, ob die Billigkeit der Lampe den Mehraufwand an Kraft compensire. Hierüber fehlen genaue

Digitized by Google

Angaben, aber jedenfalls ist die Lampe überall da zu empfehlen, wo man billige Kraft zur Verfügung hat und man Werth auf eine möglichst einfache Lampe legt.

Die auf S. 458 erwähnte Commission der Pariser Ausstellung untersuchte auch die Kerzen von *Jablochkoff*, *Jamin* und *Debrun*. Die letztere ist eine Modification der Kerzen von *Wilde*. Die wichtigsten Resultate stellen wir in folgender Tabelle zusammen und fügen noch einige Messungen hinzu, welche von *Bède* und einigen Gelehrten in Brüssel mit der Soleil-Lampe ausgeführt wurden. Betreffend die Bedeutung der gegebenen Zahlen verweisen wir auf die auf S. 459 gegebenen Definitionen.

Der kleinere Nutzeffect der Kerzen gegenüber den Bogenlampen liegt zum Theil darin, dass zum Betrieb der ersteren Wechselströme nöthig sind.

Digitized by Google

Tabelle über den Betrieb der Soleil-Lampen und der Kerzen Jablochkoff, Jamin und Debrun.

	Soleil. 2 Lampen.	*Soleil.* 16 Lampen.	*Debrun.* 7 Kerzen.	*Jablochkoff* mit *Gramme*-Maschine. 30 Kerzen.	*Jablochkoff* mit *de Méritens*-Maschine. 25 Kerzen.	*Jamin.* 32 Kerzen.	*Jamin.* 48 Kerzen.	*Jamin.* 60 Kerzen.
Geschwindigkeit der Dynamo-Maschine (Touren per Minute)	2000	2000	2237	1206	861	2155	2300	2149
Totale Arbeit in Pferdestärken	17	24	13,83	12,89	6,95	26,00	26,13	23,00
Stromstärke in *Ampère*	22	5	10,0	7,5	8,5	6,1	5,1	3,5
Spannung einer Kerze in *Volt*	—	—	50	43	42	77	69	74
Arbeit der Lichtbogen in Pferdestärken	—	—	6,07	8,72	11,47	20,27	22,91	20,64
Totale elektrische Arbeit in „	8	18	—	11,15	13,0	23,09	25,01	21,85
Lichtstärke, horizontal einer Lampe in *Carcel*	562	60	37,6	27,7	32,5	22,0	23,9	12,9
„ mittlere, sphärische „ „	—	—	27,4	20,2	23,7	16,0	17,4	9,4
„ „ aller Lampen	1124	960	192	404	592	512	835	564
Totaler mechanischer Nutzeffect	0,5	0,75	—	0,87	0,76	0,89	0,96	0,95
Mechanischer Nutzeffect der Lichtbogen	—	—	0,44	0,68	0,67	0,78	0,88	0,89
Elektrischer „ „ „	—	—	—	0,78	0,87	0,88	0,92	0,94
Carcel per mechanische Pferdestärke	—	—	13,9	31,3	34,8	19,7	32,0	24,5
„ „ elektrische „	138	60	—	36,2	45,6	22,2	33,4	25,8
„ „ „ „ „ der Lichtbogen	—	—	31,6	46,3	51,6	25,3	36,4	27,3
Carcel per *Ampère*	—	—	2,74	2,69	2,79	2,69	3,41	2,69

Digitized by Google

XII. Abtheilung.

Die Incandescenz-Beleuchtung.

(Glühlicht-Lampen.)

Versuche mit Inductionsrollen.

Es erübrigt, diejenige Art des elektrischen Lichtes zu besprechen, welche in neuester Zeit wieder viel von sich reden macht und mehr denn je die elektro-technische Welt beschäftigt, da dieselbe gegen Erwarten sich zu bewähren scheint und dadurch die Theilung des elektrischen Lichtes in weiter Vollendung durchzuführen erlaubt: das elektrische Glühlicht oder die sogenannte Incandescenz-Beleuchtung. Das ganze Gebiet derselben lässt sich füglich in zwei Gruppen eintheilen; die eine Gruppe umfasst diejenigen Lampen, bei denen der Sitz des Widerstandes ein Contact ist, die andere solche, bei denen der Sitz des Widerstandes ein continuirlicher Leiter ist.

A. Glühlichter mit unvollkommenem Contacte.

Wenn es sich darum handelt, ein oder mehrere Lichter von sehr grosser Intensität zu erzeugen, so ist man auf den *Volta*'schen Flammenbogen angewiesen, in dem das Licht dadurch entsteht, dass sich eine sehr bedeutende Quantität Elektricität in Folge des grossen Widerstandes, welchen

Digitized by Google

eine zwischen den Kohlenspitzen befindliche Luftschicht dem Durchgange der Elektricität entgegensetzt, in Wärme umsetzt und dass diese Wärme die Kohlen bis zum Verdampfen weissglühend macht. In dem Maasse, als man diese, zwischen den Kohlen befindliche Luftschicht kleiner macht, wird der Widerstand derselben auch kleiner, und es reicht dann schon ein Strom von geringerer Intensität hin, den Widerstand zu überwinden und einen kleinern Lichtbogen von geringerer Leuchtkraft zu erzeugen. Es zeigt sich dabei, dass, wenn man den Abstand der Kohlen ganz oder beinahe ganz unterdrückt, die Erscheinungen verschieden ausfallen, je nachdem man den Kohlen gleiche oder ungleiche Querschnitte gibt.

Werdermann hat den letztern Fall eingehend untersucht und ist dabei zu folgenden Resultaten gelangt. Wenn man den Querschnitt der positiven Kohle nach und nach verkleinert und den der negativen vergrössert, so nimmt die an der letzten bei gleichen Querschnitten stets auftretende Rothgluth immer mehr ab, wogegen die an der positiven Kohle sich entwickelnde Hitze im Verhältnisse zu der Abnahme des Querschnittes zunimmt. Der elektrische Strom überwindet dann nicht mehr den Abstand der Kohlen mit derselben Leichtigkeit, als bei Kohlen mit gleichen Querschnitten, und um den Lichtbogen zu erhalten, müssen die Kohlenenden einander näher gebracht werden, damit der Strom die noch zwischen ihnen befindliche Luftschicht überwinden könne. Geschieht dieses, so zeigt sich im Strome das Bestreben, die Querschnitte beider Kohlen gleich zu machen; je grösser dabei die Differenz zwischen diesen Querschnitten ist, um so kleiner muss man ihren Abstand nehmen, um eine allzu grosse Erbreiterung der positiven Kohle zu verhüten, und gleichzeitig muss man zu demselben Zwecke den Strom etwas abschwächen, die Tourenzahl der Lichtmaschine also etwas verringern. Man kommt dabei

Digitized by Google

bald an eine Grenze, wo der Abstand der beiden Kohlen unendlich klein wird, d. h. wo die Kohlen sich berühren. Dieses tritt ein, wenn die Querschnitte der positiven und negativen Kohle sich verhalten etwa wie 1 zu 64; die negative Kohle erhitzt sich dann fast gar nicht und erleidet daher auch keine Abnahme; nur die positive Kohle nutzt sich ab und verbrennt langsam unter einem sehr schönen, ruhigen Lichte so lange, als eine innige Berührung zwischen den beiden Kohlen stattfindet.

Man kann darüber streiten, ob dieses Licht ein reines Glühlicht ist oder ob es von einem allerdings nicht sichtbaren, unendlich kleinen Lichtbogen ausgestrahlt wird; doch unterscheidet sich dasselbe so sehr von dem Lichte des gewöhnlichen Flammenbogens, dass die auf diesem Princip gebauten Lichter gewöhnlich zu der Classe der Glühlicht- oder der Incandescenz-Lampen gerechnet werden.

138. Die Glühlicht-Lampe von Reynier. Gleichzeitig mit *Werdermann* hatte der Franzose *Reynier* über das Glühen von Kohlen mit ungleichen Querschnitten eine Reihe von Versuchen angestellt und eine Glühlicht-Lampe construirt, welche zwar anfangs noch complicirt war, weil in derselben ein dünnes Kohlenstäbchen durch ein Uhrwerk beständig gegen eine dickere Kohle angepresst werden musste, die jedoch so günstige Resultate gab, dass der Erfinder auf ihre Vereinfachung bedacht war und schliesslich zu dem Modell kam, welches in Fig. 345 abgebildet ist. Demselben liegt folgendes Princip zu Grunde.

Wenn ein dünnes Kohlenstäbchen in der Richtung seiner Achse gegen ein grösseres Stück Kohle angedrückt wird und in der Nähe des Contactpunctes einen seitlichen Druck von einem andern Kohlenstäbchen erfährt, so kommt das zwischen den beiden Contactpuncten liegende Stück des dünnen Kohlenstäbchens unter der Einwirkung eines hinlänglich starken Stromes zum Weissglühen und verbrennt,

Digitized by Google

während das auf die dickere Kohle drückende Ende sich zuspitzt. In dem Maasse, wie sich das Stäbchen durch diese Verbrennung abnutzt, wird es durch einen in seiner Achse auf dasselbe wirkenden Druck weiter geschoben, wobei es stets an dem seitlichen Contacte vorbeigleitet und auf der dickeren Kohle aufruht. Dadurch, dass die Kohle sich mit dem Sauerstoff der Luft verbindet und verbrennt, wird Wärme entwickelt und so der Effect des elektrischen Glühens noch erheblich erhöht.

Die nach diesem Princip von *Reynier* ursprünglich construirten Lampen (Fig. 345) bestehen im Wesentlichen aus folgenden Theilen. Das dünne positive Kohlenstäbchen steckt in dem obern Querarm einer viereckigen Messingstange, welche im Innern des Lampenständers zwischen vier kleinen Messingröllchen durch das eigene Gewicht herabsinkt. Die negative Kohle hat die Form einer kreisrunden Scheibe und wird von einer den obern Theil des Lampenständers umfassenden und von den metallischen Theilen dieses Ständers völlig isolirten Gabel gehalten; die Gabel selbst ist ausserdem um einen Zapfen in der Achse der Tragsäule drehbar.

Fig. 345.

Glühlicht-Lampe von Reynier.

Digitized by Google

Das Kohlenstäbchen geht etwas oberhalb der Kohlenscheibe an einem kupfernen Gleitröllchen vorbei und erhält dadurch für den untern Theil seine Führung; zwischen diesem Gleitröllchen und der Kohlenscheibe aber befindet sich der seitliche Contact, der durch einen kleinen in einem drehbaren Hebel eingespannten und durch sein Gewicht gegen das positive Kohlenstäbchen drückenden dickern Kohlenstift hergestellt wird.

Der Strom tritt an der linksseitigen Klemme in die Lampe ein, geht durch den ganzen Lampenkörper und von dem oberhalb der Kohlenscheibe anfedernden dickern Kohlenstift in das kurze untere Stück des verticalen Kohlenstäbchens, sodann in die negative Kohlenscheibe und in die vom Gestelle isolirte Gabel, endlich durch einen (in der Figur sichtbaren) dicken Leitungsdraht zur negativen Polklemme und zur Leitung weiter.

Die Gabel liegt mit ihrem hintern Ende auf einem kleinen Hebel auf, der gegen den viereckigen obern Kohlenträger drückt. Dieser letztere hat das Bestreben, durch sein Gewicht herabzufallen, wird aber dadurch, dass das verticale Kohlenstäbchen an der Kohlenscheibe seitlich aufliegt, am Fallen gehindert und kann nur dadurch sehr langsam heruntergleiten, dass das obere Kohlenstäbchen abbrennt. Die obere Kohlenspitze liegt jedoch nicht in derselben Verticalen, in welcher die Achse der Kohlenscheibe sich befindet, sondern seitlich um 30° davon entfernt, so dass durch die Wirkung der tangentialen Seitenkraft des verticalen Druckes zugleich eine langsame Drehung der Kohlenscheibe bewirkt wird, was nothwendig ist, um das Ansammeln von Asche des darüber befindlichen Kohlenstäbchens zu verhüten. Andererseits wirkt das Gewicht des Kohlenträgers auch durch die drehbare Gabel und den Hebel als Bremse und verhindert das zu rasche Herabsinken und das Abbrechen der Spitze des glühenden Kohlenstäbchens.

Digitized by Google

Die Kohlenstäbchen haben einen Durchmesser von 2mm bei einer Länge von 30cm und halten bei einer mässigen Stromstärke zwei Stunden aus. Nach *Fontaine* gab eine solche Lampe mit einer Batterie von 12 *Bunsen*'schen Elementen ein Licht von 15 bis 20 Bec-Carcel. (S. 83.) Erwähnenswerth ist ferner eine Versuchsreihe, die derselbe Ingenieur mit mehreren in denselben Kreislauf hinter einander eingeschalteten *Reynier*'schen Lampen unter Anwendung einer *Gramme*'schen Maschine angestellt hat.

Die Maschine machte 920—930 Touren in der Minute. Zwischen der Maschine und den Lampen befand sich ein Kupferdraht von 100m Länge und 3mm Durchmesser. Die angewandten Kohlenstäbchen von *Carré* (S. 423) hatten einen Durchmesser von 2mm; die Strecke des leuchtenden Theiles zwischen den beiden Contacten betrug 5 bis 6mm.

Es ergaben sich folgende Resultate:

Zahl der hintereinander eingeschalteten Lampen.	Ausschlag des Galvanometers.	Lichtstärke jeder einzelnen Lampe in B.-Carc.	Summe der Lichtstärke in allen Brennern in B.-Carc.
5	25°	15	75
6	22°	13	78
7	20°	10	70
10	15°	5	50

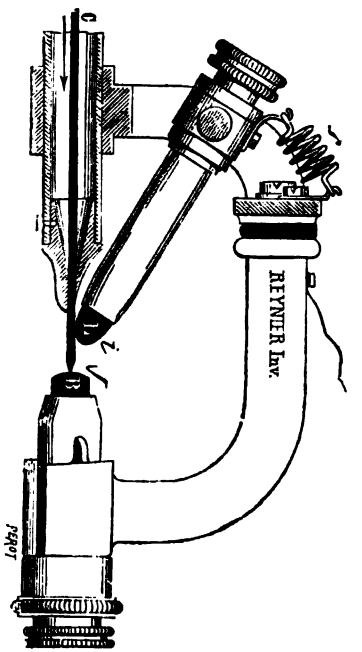
Ein *Serrin*'scher Regulator gab unter den gleichen Verhältnissen eine Lichtstärke von 320 B.-Carc.

Die *Reynier*'sche Lampe empfiehlt sich für schwächere Lichtstärken durch Einfachheit der Construction, Leichtigkeit in der Handhabung und durch niedrigen Preis, so dass sie für die Zwecke der physicalischen Cabinette und der Laboratorien, welche keine Lichtmaschinen besitzen und nur über Stromstärken mittlerer Grösse verfügen können, auch in ihrer früheren Construction gute Dienste leistet, während die neuen Modelle auch zur allgemeinen Beleuchtung verwendbar sind.

Digitized by Google

Die neue Form (1878) derselben zeichnet sich gegenüber den früheren Constructionen durch einfache und solide Anordnung aus. Die Kohle *C* (Fig. 346) ruht mit dem Drucke ihres eigenen Gewichtes auf einem Graphitblocke *B*; ein anderes Stück Graphit *L* ist am äusseren Ende eines beweglichen Hebels befestigt; durch eine mit diesem verbundene Feder *r* wird das Contactstück *L* an den Kohlenstab angepresst. Der Strom durchfliesst nur zwischen den Contactpuncten *i j* der Graphitstücke den Kohlenstab, und man kann durch Regulirung dieser Contactpuncte die Länge der glühenden Kohlen beliebig begrenzen; bei den gewöhnlichen Lampen beträgt dieselbe zwischen 4 und 8mm. Das untere Contactstück *B* ist in einer Hülse befestigt, die durch einen Bajonettschluss in das sehr einfache Gestell eingefügt wird. Um die Lampe mit einer neuen Kohle zu versehen, wird die Hülse herausgenommen und durch die so frei werdende Oeffnung wird von unten der neue Kohlenstab in die obere Röhre eingeschoben. Die gewöhnlich verwendeten Kohlenstäbe haben einen Durchmesser von 2,5mm, sind 1m lang und brennen ungefähr 6 Stunden.

Fig. 346.



Glühlicht-Lampe von Reynier. (Neues Modell.)

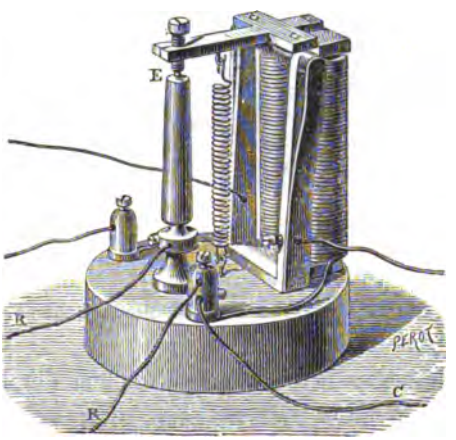
Reynier hat folgende Daten über seine neue Lampe veröffentlicht:

Digitized by Google

Länge des glühenden Theiles..... 13 mm
Stromstärke ..... 27 Ampère,
Widerstand der Lampe..... 0,2 Ohm,
Spannung an den Klemmen der Lampe 5,4 Volt,
Elektrische Energie in der Lampe . 14,86kgm pr. Sec.,
Lichtstärke im Maximum..... 12 Carcel,
Carcel per Pferdestärke ..... 60 Carcel.

In einem Stromkreise, in welchem Glühlicht-Lampen eingeschaltet sind, ist die Ursache des Verlöschens eine zweifache: entweder der vollständige Verbrauch der Kohle oder eine Störung in der Regulirung, wodurch ein *Volta*'scher Lichtbogen erzeugt wird, welchen die schwache Spannung

Fig. 317.



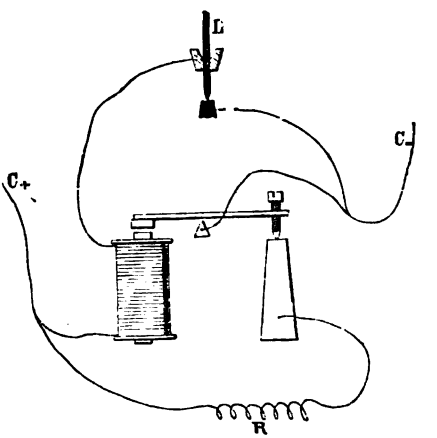
Automatischer Anzünder von Reynier.

des Stromes nicht unterhalten kann. Der erste Umstand kann leicht beseitigt werden, indem man Kohlen von genügender Länge benutzt, was bei der Construction dieser Lampen leicht möglich ist. Um den zweiten Umstand unschädlich zu machen, falls er durch unvorhergesehene Ereignisse eintreten sollte, hat *Reynier* den sogenannten automatischen Anzünder construirt. Derselbe ist in den Figuren

Digitized by Google

347 u. 348 abgebildet und besteht im Wesentlichen aus einem Elektromagnet, der in dieselbe Leitung wie die Lampen eingeschaltet ist. So lange diese brennt, ist die Armatur des Elektromagnets angezogen, in dem Momente aber, wo die Lampe zufällig auslöschen sollte, wird der Anker frei. Durch die Wirkung einer Spiralfeder wird der Contact *E* hergestellt und dadurch eine Hülfsleitung geschlossen, welche ungefähr gleich viel Widerstand *R* wie die brennende Lampe

Fig. 348.



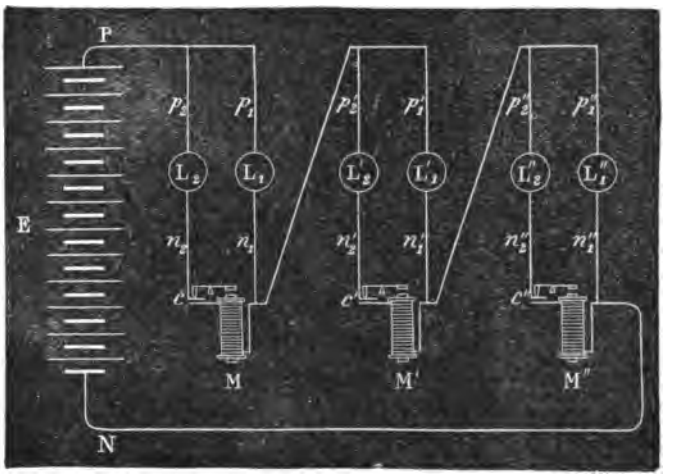
Automatischer Anzünder von Reynier. (Schematisch.)

enthält, so dass der Strom auch, nachdem die Lampe ausgelöscht ist, in unveränderter Intensität weiter circulirt. Sobald die Lampe wieder in Stand gesetzt ist, so dass der eine Theil des Stromes wieder durch den Elektromagneten circulirt, wird der Anker desselben wieder angezogen, die Nebenleitung wird unterbrochen und die Lampe brennt wieder regelmässig weiter. Man braucht auf diese Weise für jede Lampe einen Anzünder, aber man kann den Widerstand desselben *R* durch eine zweite Lampe ersetzen, welche so lange brennt, als die andere ausgelöscht bleibt. Die nachstehende Fig. 349 macht deutlich, wie eine Installation

Digitized by Google

ausgeführt werden kann, drei Lampen L_1, L'_1 und L''_1 sind mit den Polen P und N einer Batterie oder einer elektrischen Maschine E verbunden. Zu jeder Lampe gehört

Fig. 349.



Installation von Reynier-Lampen.

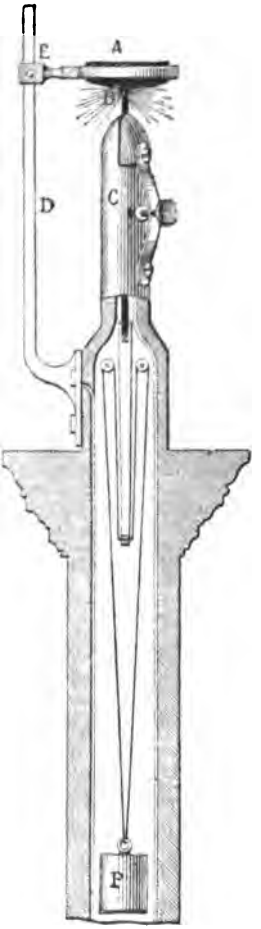
ein Anzünder M, M', M'' mit den Contacten C, C', C'', welche statt mit Widerständen mit den Lampen L_2, L'_2, L''_2 verbunden sind, so dass in dem Momente, wo der Anzünder die eine Lampe ausschaltet, dafür eine andere eingeschaltet wird.

139. Die Glühlicht-Lampe von Werdermann stimmt im Princip mit der von *Reynier* überein; sie unterscheidet sich aber von dieser wesentlich dadurch, dass die etwa 4cm breite, 2cm dicke kreisrunde negative Kohlenscheibe A (Fig. 350) an die höchste Stelle der Lampe gesetzt ist und das dünne positive Kohlenstäbchen B von 3mm Durchmesser in verticaler Richtung von unten her gegen die Kohlenscheibe angedrückt wird. Die Scheibe A ist von einem Kupferringe eingefasst, der durch einen Arm E an dem seitlichen, von der Lampe gut isolirten Träger D gehalten wird. Unterhalb der Kohlenscheibe A befindet sich der

Digitized by Google

Halter und Führer *C* für das positive Kohlenstäbchen; er hat einen beweglichen Backen, der durch die Regulirfeder beständig gegen das Kohlenstäbchen gedrückt wird, um einen guten Contact herzustellen. Das Kohlenstäbchen steckt mit seinem untern Ende in einer Röhre von Kupfer, mit welcher es unter Einwirkung des Gewichtes *P* mit Hülfe zweier über feste Röllchen laufender Schnüre oder Kettchen in die Höhe geschoben und mit seiner oberen Spitze unter mässigem Drucke gegen die Kohlenscheibe angepresst wird.

Fig. 350.



Glühlicht-Lampe von Werdermann.

Neuerdings hat *Werdermann* die Lampe durch einen Mechanismus verbessert, durch den die beiden Elektroden constant in ihrer günstigsten gegenseitigen Lage erhalten werden, so gross auch die Ungleichmässigkeit der Verbrennung der verticalen Kohle je nach der Entwicklung des Lichtes ist; ferner wurde dafür gesorgt, dass die Kohlenstäbe der Lampe automatisch aus dem Stromkreise ausgeschaltet werden, sobald sie ganz oder fast ganz aufgebrannt sind, ohne dass ein störender Einfluss auf die übrigen Lampen desselben Stromkreises ausgeübt wird.[1])

Insbesondere gelang es aber *Joël*, das System *Werdermann* zu vervollkommnen und eine Lampe zu construiren, welche sich

1) Z. f. a. E. 1880, p. 409.

Digitized by Google

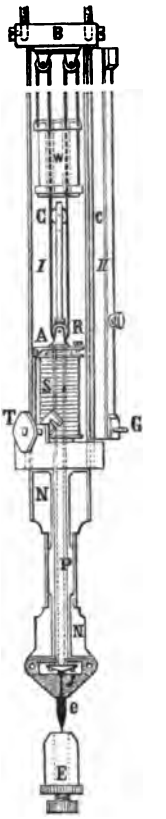
durch ihren einfachen Mechanismus vortheilhaft auszeichnet. Die Construction der

140. Joël'schen Hängelampe, welche durch Fig. 351 dargestellt wird, erhellt aus den schematischen Zeichnungen, Figuren 352 u. 353; danach bildet den Körper der Lampe

Fig. 351.

Die Joël'sche Lampe.

Fig. 352.



Construction der Joël'schen Lampe.

eine kupferne Hülle, welche aus zwei elektrisch von einander isolirten Hälften zusammengesetzt ist, die jedoch mittelst des an der Hälfte I befindlichen Drückers *T* und des an der

Digitized by Google

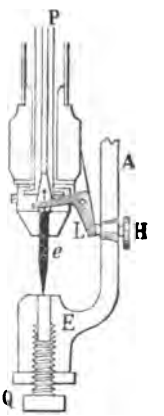
Hälfte II befindlichen Vorsprungs G leitend verbunden werden können; am Ende der ersten Hälfte sind ferner zwei Kluppen J als zweiarmige Hebel befestigt. Der untere Theil der Röhre $N N$ umgibt lose den Tubus P, welcher bei R an einer Rolle befestigt ist. Mittelst dieser Rolle R und der mit ihr in fester Verbindung stehenden Rolle C, sowie der beiden Rollen bei B und einer continuirlichen Schnur sucht das Gewicht W den Tubus P zu heben; da dieser nun mit zwei seitlichen Vorsprüngen endigt, durch welche feine, regulirbare Schrauben hindurchgehen, so stossen die letzteren gegen die oberen Arme der Hebel J, so dass die unteren Arme den aus dem Tubus hervorragenden Kohlenstift umfassen und festklemmen. Geschieht dieses nicht, so gleitet der Kohlenstift bis zur unteren festen Kupfer-Elektrode E, da der eigentliche Kohlenhalter (vgl. Fig. 353) sich in dem Tubus frei bewegen kann. Die Kluppen J lassen aber nach dem Obigen den Kohlenstift nur dann fahren, wenn der Tubus sich senkt; dieses geschieht, sobald der an dem Tubus unterhalb der Rolle R befestigte Anker des Elektromagnets S von dem letztern angezogen wird. Die untere Elektrode ist entweder ganz aus Kupfer hergestellt oder auch mit einer Graphiteinlage versehen; sodann ist sie durch einen Arm mit der Hälfte II des Körpers verbunden (vgl. Fig. 353).

Da der Kohlenstift so in die Lampe eingesetzt wird, dass derselbe die Elektrode E berührt, so bilden die Hälfte I, die Kluppen J, der Kohlenstift e, die Elektrode E, der erwähnte Arm und schliesslich die Hälfte II den geschlossenen Stromweg. Durchfliesst daher in gedachter Weise der Strom die Lampe, so entwickelt sich sofort ein schönes Licht; denn die Spitze des Kohlenstiftes wird zur Weissgluth erhitzt, während von dem obern Theile des Stiftes zur Kupfer-Elektrode hin ein flammenähnlicher Schein sich erstreckt. Dabei nutzt der Stift etwa $2^1/_2$ bis 3 Zoll per

Digitized by Google

Stunde für Lichter von 100 Kerzen Lichtstärke ab. Es nimmt dadurch die Stromstärke des den erwähnten Weg durchfliessenden Hauptstromes ab, und es wächst diejenige eines zweiten Stromes, welcher einen Nebenschluss passirt, in den der Elektromagnet *S* eingeschaltet ist. Dieser ist aber derart mit feinem Draht umwunden, dass er, sobald der Lichtbogen zu gross wird, hinreichend gesättigt ist, den Anker *A* anzuziehen, wodurch nach dem Obigen der Kohlenstift auf die Elektrode *E* zu liegen kommt. Da nunmehr wiederum der Nebenstrom geschwächt wird, der Elektromagnet also den Anker fahren lässt und das Gewicht *W* den Tubus hebt, so umschliessen die Kluppen den Kohlenstift u. s. w.

Fig. 353.



Construction der Joël'schen Lampe.

Ist der Stift beinahe verbrannt, so gleitet aus dem Tubus ein Theil des Kohlenhalters hervor, welcher den an der Hälfte I befestigten Hebel *L* so bewegt, dass derselbe die in dem Arme *A* drehbare Schraube berührt und somit die Verbindung der beiden Röhrenhälften bezw. kurzen Schluss der Lampe bewirkt.

Professor *Adams* constatirte in der Society of Arts, dass mit der *Joël*'schen Lampe eine Leuchtkraft von 715 Kerzen per Pferdekraft erreicht werden kann. Wohl soll diese Beleuchtung theurer als Bogenlicht zu stehen kommen, dafür aber eine vollkommene Stetigkeit des Lichtes geben, die in vielen Fällen unerlässlich ist. Kein Wunder also, dass die Lampe bereits mehrfache Anwendung gefunden hat und zur Zufriedenheit der Besitzer functionirt. Die Brenndauer beträgt je nach der Länge des Stiftes 7—14 Stunden.[1])

1) Vgl. Scientific American 1879, Bd. 41, p. 274 und 794. Die Abänderungen der Lampen von *Reynier* und *Werdermann*, sowie auch

Digitized by Google

B. Glühlichter mit unvollkommener Leitungsfähigkeit oder mit grossem Widerstande.

141. Das Glühen der Körper. Anderer Art sind diejenigen Glühlichter, welche auf der Erscheinung beruhen, dass ein elektrischer Strom bei seinem Durchgange durch einen schlechten Leiter diesen erwärmt und ihn unter Umständen bis zu dem Grade erhitzt, dass er weissglühend wird. Die Temperatur-Erhöhung, welche irgend ein bestimmter Theil, z. B. ein begrenztes Stück des Leitungsdrahtes, in der Zeiteinheit erfährt, ist nach *Joule* proportional sowohl zu dem Quadrate der Stromstärke als auch zu der Grösse des Widerstandes, welche dieser Leiter dem Strome entgegensetzt. Während daher bei den gewöhnlichen Stromstärken sich die gut leitenden Kupferdrähte, wenn sie nicht sehr dünn sind, kaum merkbar erwärmen, erhitzen sich kleinere Stücke von schlechter leitenden dünnen Eisen- oder Platindrähten leicht bis zum Rothglühen; bei hinreichender Stromstärke werden sie weissglühend und die Temperatur-Erhöhung steigert sich bis zum Schmelzen. Bei den verschiedenen Wärmegraden sendet nun der erhitzte Körper gewisse Farbenstrahlen aus.

Bei 250° C. nennt man einen Körper schon heiss.
„ 525° „ sendet er reichlich Wärmestrahlen aus und ist im Dunkeln rothglühend.
„ 700° „ sendet er ausserdem noch aus dunkelrothe Strahlen,
„ 800° „ „ „ „ „ „ dunkelkirschrothe „
„ 900° „ „ „ „ „ „ kirschrothe „
„ 1000° „ „ „ „ „ „ hellrothe „
„ 1100° „ „ „ „ „ „ dunkelorange „
„ 1200° „ „ „ „ „ „ hellorange „

Z. f. a. E. 1879, p. 336; Z. f. a. E., Bd. 2, p. 104, die Lampe von *Hopkins* und *Higgins*; Z. f. a. E., Bd. 3, p. 123, die Lampe von *Brougham*; Génie civil 1879, p. 104, die Lampe von *Ducretet*; Scientific American 1879, Bd. 41, p. 166, die Lampe von *Cromé*; La lumière electrique 1881, p. 10 u. s. w., die Lampe von *Napoli*; *Dingler's* Pol. J. 236, p. 251, die Lampe von *Kuhlo*.

Digitized by Google

Bei 1300° C.	sendet	er	ausserdem	noch	aus	gelbe		Strahlen
„ 1500°	„	„	„	„	„	„	hellblaue	„
„ 1700°	„	„	„	„	„	„	dunkelblaue	„
„ 2000°	„	„	„	„	„	„	violette	„

Die Mischung aller dieser gleichzeitig ausgestrahlten Farben gibt bekanntlich weisses Licht, so dass man sagen kann, dass jeder Körper bei einer Temperatur von 2000° C. und mehr alle im Sonnenlichte enthaltenen Strahlen aussendet.

Die Schmelzpuncte der meisten Metalle liegen aber unter oder sehr wenig über dieser Grenze und nur Platin oder Iridium schmelzen bei 2000° bis 2500° C.; Kohle ist bei unseren irdischen Temperaturen überhaupt nicht schmelzbar. Nach *Tyndall* strahlen die rothglühenden Metalle bedeutend mehr Wärme als Licht aus; durchschnittlich betragen die Lichtstrahlen nur 5 %, die Wärmestrahlen 95 % der gesammten Ausstrahlung. Je höher jedoch die Temperatur steigt, desto grösser ist verhältnissmässig die Lichtausstrahlung, woraus folgt, dass man das Glühlicht nur bei sehr hohen Temperaturen von sehr schwer schmelzbaren Stoffen einigermaassen vortheilhaft erzeugen kann, und dass der Kohle unbedingt vor dem Platin der Vorzug gebührt. Dazu kommt, dass die Kohle bei gleicher Temperatur ein viel grösseres Strahlungsvermögen besitzt als Platin, und dass die Kohle unschmelzbar ist und auf die höchste Weissgluth gebracht werden kann, ohne dass Gefahr vorhanden ist, dass die Leitung durch Abschmelzen unterbrochen werde.

Demnach bleibt die Wahl der Materialien zur praktischen Verwerthung nur auf Drähte oder Streifen von Platin oder auf Legirungen von Platin und Iridium sowie auf dünne Stäbchen oder Blätter von Kohle beschränkt.

142. Die Glühlicht-Lampen von Lontin, King und Lodyguine, Konn und von Bouliguine.

Die Glühlicht-Lampe von Lontin ist im Grunde von der bereits im Jahre 1852 von *de Changy* in Brüssel construirten und auf

Digitized by Google

S. 523 beschriebenen Einrichtung nicht verschieden. Der Apparat besteht aus einer Spirale von 1mm dickem Platindrahte, welche zwischen zwei dünnen Kupferstäbchen eingespannt ist. Es ist nicht gleichgültig, wie die Spirale gewunden wird, da die Intensität des Glühens erst dann ihr Maximum erreicht, wenn die einzelnen Windungen sich beinahe berühren. Bei einer zu grossen Stromstärke würde der Platindraht schmelzen, und dieses wird durch eine besondere Regulirvorrichtung derart verhütet, dass man es in der Gewalt hat, dem Strome einen Nebenweg um die Spirale anzuweisen, wenn seine Intensität einen bestimmten Grad erreicht hat, dessen Ueberschreiten für den weissglühenden Draht gefährlich wird.

Der Regulator besteht aus einem vertical stehenden einschenkeligen Elektromagnet, dessen Anker angezogen wird, sobald die genannte Grenze erreicht ist. Letzterer wird durch eine Abreissfeder von dem Magnetpol entfernt gehalten, so lange der Strom jene Grenze noch nicht erreicht hat, und es geht dann der volle Strom durch die Platinspirale und den Elektromagnet. Wird jedoch die Stromstärke zu gross, so zieht der Magnetpol den Anker an, und es kommt durch die metallische Berührung zwischen Anker und Magnetpol der Schluss einer Zweigleitung zu Stande, durch welche nur noch ein Theil des Stromes den frühern Weg durch den Platindraht beibehält, während der grössere Theil des Stromes den Weg durch den metallischen Kern des Elektromagnets nimmt und die Drahtumwindungen des letztern umgeht. Die Temperatur des Platindrahtes nimmt sofort ab und das Abschmelzen wird verhütet; der Elektromagnet verliert seine Anziehungskraft und die Feder zieht den Anker wieder zurück. Eben hierdurch aber hört der Zweigstrom auf, da seine Leitung zwischen Anker und Magnetkern unterbrochen ist, und der Strom geht nun wieder durch die Platinspirale und den Elektromagnet. Dieses Spiel wiederholt sich unter beständigem Vibriren des federnden Ankers, wenn die Abreissfeder mit der Stromstärke oder der anziehenden Kraft des Elektromagnets im Gleichgewichte ist.

Lontin hat diesen Regulator angewandt, um zehn einfache, kurze Platinspiralen, deren Draht 1mm dick und 2cm lang war, auf der Rampe eines Theaters weissglühend zu erhalten und vor dem Schmelzen zu schützen. Das Hinzufügen einer elften Spirale war an den übrigen gar nicht zu bemerken, so dass nicht zu zweifeln ist, dass eine weit grössere Zahl solcher Glühlichter mit dem Regulator in Betrieb gehalten werden könnten. Die zehn Lichter verbrauchten nur $^1/_6$ der gesammten von der Maschine gelieferten Kraft. Es ist leicht einzusehen, dass diese mit der Construction von *de Changy* im Wesentlichen übereinstimmende Einrichtung von *Lontin* für eine öffentliche Beleuchtung oder auch nur für die Beleuchtung grösserer Räume ohne alle praktische Bedeutung ist.

Digitized by Google

Die Lampen von King und Lodyguine erreichen das Ziel der Beleuchtung durch Weissglühen schon in höherem Grade, indem sie den Platindraht durch sehr dünne Stäbchen von Kohle ersetzen. In seinem englischen Patente vom 4. November 1845 sprach sich *King* über seine Lampe folgendermaassen aus:

„Der Erfindung liegt die Anwendung metallischer Leiter oder Kohlenstäbe zu Grunde, welche durch den Durchgang eines elektrischen Stromes weissglühend werden. Das beste Metall hierzu ist Platin, die beste Kohle ist die Retortenkohle.

Wenn man Kohle anwendet, empfiehlt es sich, dieselbe wegen ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoff der Luft, die namentlich bei hoher Temperatur bedeutend ist, von der Luft und der Feuchtigkeit abzuschliessen."

Hiernach bestand die Lampe von *King* aus einem nach oben etwas erweiterten Glasrohre, in dessen oberm Theile ein dünnes Stäbchen aus Retortenkohle zwischen zwei guten Stromleitern befestigt war. Der eine dieser Leiter ging luftdicht aus dem Glasrohre nach aussen; der untere Leiter stand mit einem Quecksilberbade in Verbindung. In dem Glasrohre wurde die Luftleere hergestellt, am besten dadurch, dass das Rohr den höchsten Theil der *Toricelli*'schen Leere eines gewöhnlichen Barometers bildete. Wenn dann ein kräftiger galvanischer Strom durch die beiden Leiter und das Kohlenstäbchen geleitet wurde, gelangte letzteres zum Weissglühen und strahlte ein sehr intensives Licht aus, welches bei entsprechender Einrichtung der Lampe sowohl für submarine Beleuchtung bei Taucherarbeiten, als auch zur Beleuchtung von solchen Räumlichkeiten verwendet werden konnte, wo die Anwendung offener Lichter mit Gefahr verbunden war.

Nach manchen anderen zwischenzeitlichen Versuchen ähnlicher Art nahm im Jahre 1873 der russische Physiker *Lodyguine* die Idee der Beleuchtung mittelst des elektrischen Glühlichtes von Neuem auf, und die von ihm construirte Lampe erhielt sogar auf Grund des von dem Director des Kaiserlich Russischen Observatoriums darüber erstatteten Berichtes von der Petersburger Akademie der Wissenschaften im Jahre 1874 einen grossen Preis. Die von *Lodyguine* verwendeten Kohlenstäbe waren an der Stelle, wo sie weissglühend werden sollten, stark verjüngt; in jeder Lampe, deren Inneres ebenfalls luftleer gemacht wurde, befanden sich zwei solcher Stäbchen, die nach aussen mit einem Commutator in Verbindung standen; vermittelst dieses letztern konnte das eine Stäbchen in den Stromkreis eingeschaltet werden, wenn das andere abgenutzt war. Die Construction aller Details der Lampe war jedoch eine sehr mangelhafte.

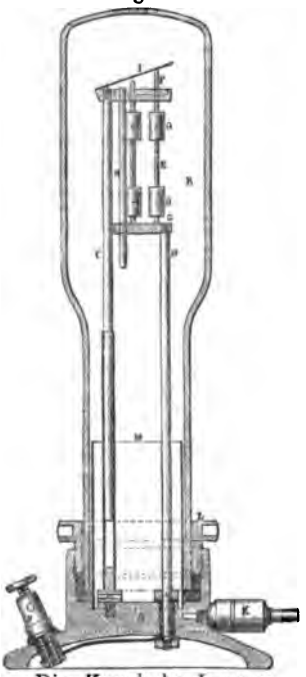
Die Lampen von Konn und von Bouliguine. Das nächste Jahr (1875) brachte ein Patent von *Konn*, ebenfalls aus St. Peters-

Digitized by Google

burg, über eine Glühlicht-Lampe, die bessere Resultate zu geben versprach. Dieselbe ist nach einer Ausführung von *Dubosq* (Paris) folgendermaassen construirt. (Fig. 354.)

Auf einem kupfernen Sockel *A* sind zwei Klemmschrauben *N* zur Befestigung der von der elektrischen Kraftmaschine kommenden Leitungsdrähte, zwei kupferne Röhren *C D* und ein kleines Ventil *K* angebracht, welches sich nur nach aussen öffnet und mit dem Stiefel einer Luftpumpe in Verbindung gebracht werden kann.

Fig. 354.



Die Konn'sche Lampe.

Durch eine den untern Theil des Glasrohres umgebende Schraube *L* wird unter Beihülfe eines Dichtungsringes von Gummi die oben ausgebauchte Glasglocke auf dem Sockel *A* festgehalten.

Die eine der verticalen Röhren *D* ist vom Sockel isolirt und steht mit der ebenfalls isolirten Klemmschraube *N* in leitender Verbindung. Die andere Röhre *C* besteht aus zwei Theilen: 1) einem festen Rohre, welches direct in den Sockel eingeschraubt ist, und 2) aus einem Kupferstabe, der auf einen Theil seiner Länge aufgeschlitzt ist und daher etwas federt; er lässt sich zwar in dem Rohre *C* auf- und abschieben, aber er bleibt in jeder Stellung stehen, wenn kein Druck auf ihn ausgeübt wird.

Die Stäbe *E* aus Retortenkohle, fünf an der Zahl, sind zwischen zwei kleinen Scheiben angebracht, welche die Enden der Röhren *C* und *D* bilden. Jeder Kohlenstab steckt in zwei kleinen Kohlenklötzchen *O O*, die ihrerseits wieder auf Kupferstäbchen *F G* sitzen, von denen die unteren *G* alle gleich lang sind, die oberen *F* aber ungleiche Länge haben. Auf dem Rohre *C* sitzt dann noch eine Feder *I*, welche stets nur auf einem der Kupferstäbchen *F* aufruht, die von den Kohlenstäbchen nach oben ausgehen.

Schaltet man die Lampe in den Kreislauf eines Stromes ein, so geht derselbe von der Klemme *N* durch *D O*, den Kohlenstab *E* und über *F I C* zu dem Sockel *A* der Lampe und der zweiten, mit letzterem leitend verbundenen Klemmschraube, welche in der Figur nicht sichtbar ist. Die Glasglocke wird vorher vermittelst einer Luftpumpe luftleer gemacht. Das Kohlenstäbchen *E* wird zuerst roth-, dann weissglühend; anfangs ist das Licht weiss, ruhig und constant, aber

Digitized by Google

nach und nach nimmt der Querschnitt der Kohle ab, das Stäbchen bricht und das Licht erlischt. Sofort fällt aber die Feder *l* auf ein anderes Stäbchen und das Licht ist fast augenblicklich wieder hergestellt.

Wenn auf diese Weise alle Kohlenstäbe verbraucht sind, bleibt die Feder auf dem dicken Kupferdrahte *H* stehen und der Strom wird nicht mehr unterbrochen; werden daher mehrere Lampen gleichzeitig von derselben elektrischen Maschine gespeist und es geht eine von ihnen aus, so brennen die übrigen ruhig fort.

Ein im untern Theile der Lampe angebrachtes Rohr *M* von Kupferblech dient zur Aufnahme der etwa beim Durchbrennen der Kohlenstäbchen herabfallenden glühenden Kohlenpartikelchen.

Drei dieser Lampen sind seit mehreren Jahren bei dem Petersburger Kaufmanne *Florent* in Thätigkeit und werden von einer Alliance-Maschine gespeist. Jeder Kohlenstab hat eine Dauer von etwa zwei Stunden, mit Ausnahme des ersten Stabes, der fast augenblicklich verbraucht wird. Sie verbreiten ein sehr angenehmes Licht, aber die Kosten sind bedeutend höher als die des Gaslichtes. *Florent* bezeichnet die grosse Reinlichkeit als Hauptvorzug dieser elektrischen Beleuchtung; seine Magazine enthalten sehr viel weisse Wäsche, welche das Gaslicht sehr rasch gelb färbt, während das elektrische Glühlicht der Kohlenstäbchen nicht den geringsten nachtheiligen Einfluss darauf ausübt. Die Ersparnisse an Bleichkosten gleichen die erheblichen Mehrkosten des Betriebes reichlich aus. Nach einer ungefähren Schätzung ist die Lichtstärke einer *Konn*'schen Lampe etwa 20 Carcel-Brenner. Eine nicht geringe Schwierigkeit liegt in der Herstellung der dünnen Kohlenstäbchen, so dass dieselben ungeachtet des werthlosen Materials an Ort und Stelle mehr als 5 fr. per Meter kosten.

Ein russischer Officier, *Bouliguine*, änderte die *Konn*'sche Lampe dahin ab, dass er die fünf Kohlenstäbchen durch ein einziges langes Stäbchen ersetzte, welches nach Art der Graphitstäbe in einem Bleistifte im Innern eines engen Kupferrohres steckte und durch einen unterhalb des Kohlenstäbchens angebrachten, mit Zugschnur und Gewichten versehenen Metallstift sofort in die Höhe geschoben wurde, so oft das kurze, der Weissgluth ausgesetzte, aus dem Kupferröhrchen hervorragende Stück der Kohle abbrach. Bei diesem Vorrücken des Kohlenstäbchens schob sich der höchste Theil desselben in ein grösseres, konisch geformtes Kohlenklötzchen hinein und wurde durch einen von oben nach unten pressenden Kupferstift aufgehalten und mit den übrigen Theilen der Lampe leitend verbunden.

Fontaine fand bei wiederholten Versuchen, dass die Lampe von *Bouliguine* mit ihren einzelnen Cylindern einen zu complicirten Mechanismus darstellte, um andauernd regelmässig arbeiten zu können, und

Digitized by Google

dass sie bei der geringsten Störung ihren Dienst versage. Es ergab sich aber auch zugleich, dass, wenn zufällig die Lampe einmal regelmässig brannte, eine geringere Stromstärke hinreichte, um dasselbe Licht zu erzeugen, als bei der Lampe von *Konn*. Mit einer *Gramme*'schen Maschine von 100 Carcel-Brennern lieferte die Lampe mit einem Kohlenstäbchen ein Licht von 80 Brennern, während dieselbe Maschine es bei einer *Konn*'schen Lampe niemals über 80 Brenner brachte.

143. Die Glühlicht-Lampe von Edison. An den Namen *Thomas A. Edison* zu Menlo-Park (New-Jersey, Amerika) knüpfen sich mehrere beachtenswerthe Erfindungen von hohem praktischem Werthe aus dem Gebiete der elektrischen Telegraphie, mehrere recht interessante Entdeckungen auf dem Gebiete der Akustik (Telephon, Mikrophon, Tasimeter, Phonograph) und zahlreiche epochemachende Erfindungen aus dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung und der Elektrotechnik überhaupt.

Die erste Glühlichtlampe, welche *Edison* construirte, bestand wie die Lampe von *de Changy* aus einem glühenden Platindraht.

Da jedoch der Platindraht unter der Einwirkung der atmosphärischen Luft und der hohen Temperatur oxydirte und sehr bald sein Widerstand, und damit bei derselben Stromstärke auch die Licht-Intensität sich änderte, so pumpte *Edison* den Glascylinder luftleer, was vor ihm bereits *King* (1845) und *Konn* (1875) ebenfalls gethan hatten. Aber auch diese Maassregel schützte den Platindraht nicht vor der allmählichen Zerstörung. Abgesehen davon, dass es kaum möglich war, bei der beständigen Abwechslung von sehr hoher und niedriger Temperatur im Innern des Glascylinders diesen allseitig luftdicht zu erhalten, verflüchtigte sich auch der weissglühende Platindraht nach und nach und ward immer dünner, bis er denn schliesslich trotz einer sehr geschickt angebrachten Thätigkeit eines Hebels doch abschmolz.

Edison setzte nun die Spiralen von Platin, von

Digitized by Google

Iridium und seinen Legirungen bei Seite, nahm statt derselben die alten Versuche von *King*, *Lodyguine*, *Konn*, *Bouliguine* u. A. mit dünnen Stäbchen und Blättchen von Kohle wieder auf. Nun erst fand er den richtigen Weg, auf welchem er zu einer wirklich praktischen, d. h. brauchbaren, dauerhaften und noch dazu billigen elektrischen Glühlampe kam. Mit einem Locheisen wurde anfänglich aus Bristol-(Carton-)Papier ein Streifen in der Form eines Hufeisens von 5cm Länge und 3mm Breite ausgestampft. Eine gewisse Anzahl solcher Streifen wurde zwischen Eisenplatten in einem Ofen verkohlt, bis alle gasigen Bestandtheile daraus ausgetrieben waren, und darauf bei einer höheren Temperatur in einem besondern Muffelofen nochmals ausgeglüht. Hierauf wurden die kleinen, sehr zerbrechlichen, nunmehr nur noch ein Kohlengewebe darstellenden Hufeisenblättchen sorgfältig losgelöst und an Platindrähten in einem kleinen Glasballon befestigt und schliesslich letzterer luftleer gemacht.

Da *Edison* zu Beginn dieser Versuche das Vacuum und den Verschluss der Lampe ohne besondere Vorsichtsmaassregeln herstellte und dem Contacte zwischen der Kohle und den Klammern keine besondere Aufmerksamkeit schenkte, so konnte die dünne Papierkohle sich nicht dauerhafter erweisen, als die russischen dickeren Kohlenstäbchen, die ebenfalls im luftleeren Raume weissglühend wurden, jedoch in kurzer Zeit unter der gewaltigen Einwirkung der Hitze und des elektrischen Stromes sich verflüchtigten, nach und nach zerstäubten und durch die feinen, an die Glaswand der Umhüllung sich ansetzenden Kohlenpartikelchen das Glas trübten. So kamen denn auch schon den ersten pomphaften Ankündigungen der amerikanischen Journale über die endlich geglückte Construction einer dauerhaften Kohlenlampe die Mittheilungen nachgehinkt, dass *Edison* grosse Schwierigkeiten finde, seine Lampen luftdicht zu halten, dass

Digitized by Google

daher die Anfertigung derselben vorläufig eingestellt sei und weitere Versuche angestellt werden müssten. Diese Versuche waren bald von grossem Erfolge begleitet und *Edison* erreichte die Herstellung eines guten Vacuums und eines dauerhaften Contactes, so wie die Fabrication einer dauerhaften Kohlenfaser so vollständig, dass er eine in jeder Beziehung gute Lampe herstellte. Es war die erste practische zu allen Beleuchtungszwecken brauchbare Glühlicht-Lampe.

Statt der früher verwandten Kohle einer Papiermasse benutzt *Edison* seitdem nur noch die Faser des Bambusrohres, welche durch einen besondern Process verkohlt wird. Die Kohle ist äusserst dünn, so dass sie fast einem Pferdehaar gleicht; durch eine sehr künstliche Vorrichtung sind die den Strom zuführenden Platindrähte nicht mehr der Gefahr ausgesetzt, zerstört zu werden, und die Befestigung derselben in den Glasballons ist so eingerichtet, dass der durch den Einfluss der Wärme bewirkte Volumenwechsel die die Kohle umgebende Luftleere nicht mehr gefährdet. In ihrer jetzigen Form (Fig. 355) sind nunmehr die Lampen durchaus solid und dauerhaft.

Dieser Erfolg rührt offenbar daher, dass in erster Linie das Vacuum der Lampen ein vollkommenes und die Befestigung der Kohlenfaser eine dauerhafte ist. Auch der kleinste Rückstand von Luft reicht nach der neueren Erklärung, die über das Anschwärzen der Glaskugeln u. s. w. gegeben wird, hin, die Kohlen mit der Zeit zu vernichten. Diese sind nämlich selten an den einzelnen Stellen von derselben Dicke; dort, wo die Kohle dünner ist als anderwärts, besteht eine höhere Temperatur als an den Stellen, wo die Kohle dicker ist. Es wird sich demnach der Sauerstoff mit der Kohle an denjenigen Stellen zu Kohlensäure verbinden, wo eine geringere Temperatur herrscht, die gebildete Kohlensäure aber an anderen Puncten der Kohle,

Digitized by Google

welche eine sehr hohe Temperatur besitzen, wiederum in Sauerstoff und Kohlenstoff zerfallen, welch letzterer das Anschwärzen der Kugel bewirkt. Sowie also von Beginn an nur eine Spur von Sauerstoff in der Glaskugel zurückbleibt, wird dieser den vorhin geschilderten Process einleiten, der um so rascher ein Brechen der Kohlenfaser herbeiführt, je ungleicher dieselbe gearbeitet ist und je mehr Sauerstoff beim Leerpumpen in der Lampe blieb. Hiernach erklärt es sich leicht, warum in der *Konn*'schen Lampe nicht nur der erste Kohlenstab, sondern auch die folgenden Stäbe nach und nach sich verzehrten.

Fig. 355.

Edison's Lampe.

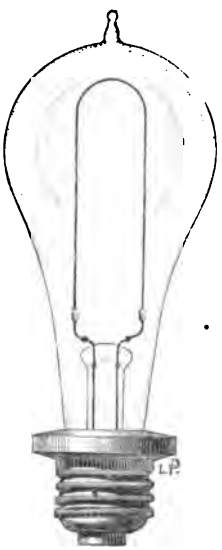
Die *Edison*'schen Lampen fanden auf der Pariser Ausstellung durch ihre einfache Construction, durch die angenehme, dem Auge wohlthuende Färbung und Unbeweglichkeit des Lichtes allgemeine Anerkennung bei Fachleuten und Laien; auch stellt sich gegenwärtig der Kostenpunct dieser neuen Beleuchtungsart nicht wesentlich ungünstiger als beim Gebrauche des Gaslichtes. Die gegenwärtigen Formen der *Edison*-Lampen zeigen Fig. 356 und 357. Die grössere Lampe (Fig. 356) gibt eine Lichtstärke von 16 Normalkerzen und im brennenden Zustande einen Widerstand von 140 Ohm. Fig. 357 zeigt die kleine Lampe von 8 Kerzen Lichtstärke und der Hälfte des Widerstandes wie die grosse. Die Lampen werden auf eine sehr einfache und zweckmässige Art mit den von der Dynamo-Maschine kommenden elektrischen Leitungen in Verbindung gesetzt, wie dies Fig. 360 (s. S. 663) zeigt. Die beiden Enden des Kohlenfadens werden vermittelst feiner Platindrähte, das eine mit einem Schraubengewinde und das andere mit einem Zapfen

Digitized by Google

verbunden, welche aus dünnen Blechen ausgestanzt sind. Die letzteren sind durch Gips von einander isolirt. Das Schraubengewinde passt in einen Sockel. Wenn es eingeschraubt wird, kommt der Zapfen mit der metallischen Bodenplatte in Verbindung, die mit einem Pole der Maschine verbunden ist; der andere Pol führt zum Schraubengewinde, welches den Strom wieder aus der Lampe abführt.

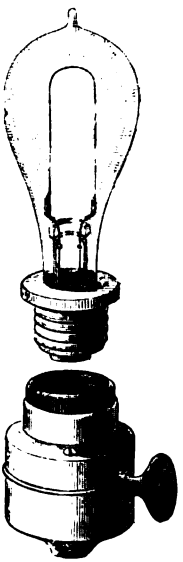
Die Glaskugeln für diese Lampen werden mit Maschinen hergestellt, wodurch eine grössere Gleichförmigkeit erzielt wird; aber die Aufeinanderfolge der einzelnen Manipulationen

Fig. 356.



Die grössere Edison-Lampe A.

Fig. 357.



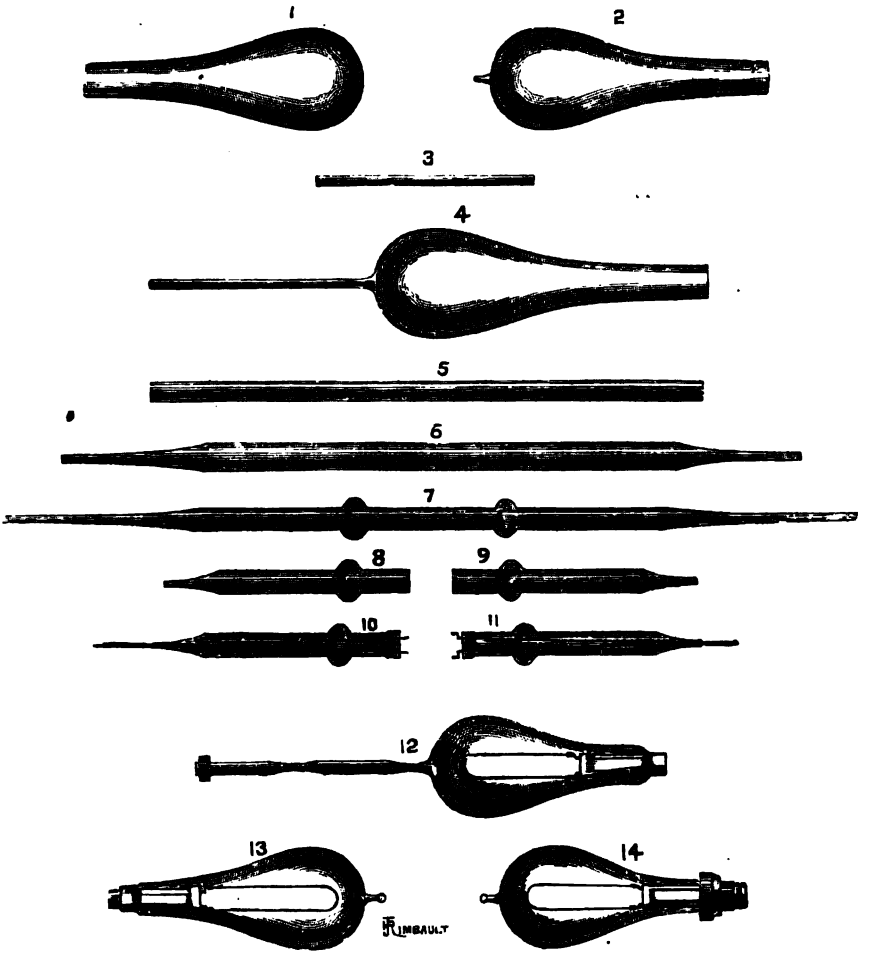
Die kleine Edison-Lampe B.

bei der Operation, durch welche das Rohmaterial in vollendete Lampen verwandelt wird, ist dieselbe wie bei der gewöhnlichen Glasbläserei. In Fig. 358 sind einzelne Stadien der Fabrication dargestellt. Nr. 1 zeigt die Form der Glaskugeln, wie sie von der Glasfabrik geliefert werden. Der erste Process ist der, das geschlossene Ende zu er-

Digitized by Google

wärmen und aus dessen Mitte eine hohle Spitze auszuziehen, wie Nr. 2 es zeigt. An diese kleine Spitze wird dann eine kurze feine Röhre Nr. 3 angeschmolzen, durch welche später

Fig. 358.



Herstellung der Glaskugel für die Edison-Lampe.

die Glaskugel mit der Luftpumpe verbunden wird. Es wird sodann der Glasstiel gebildet, durch den der Kohlen-

Digitized by Google

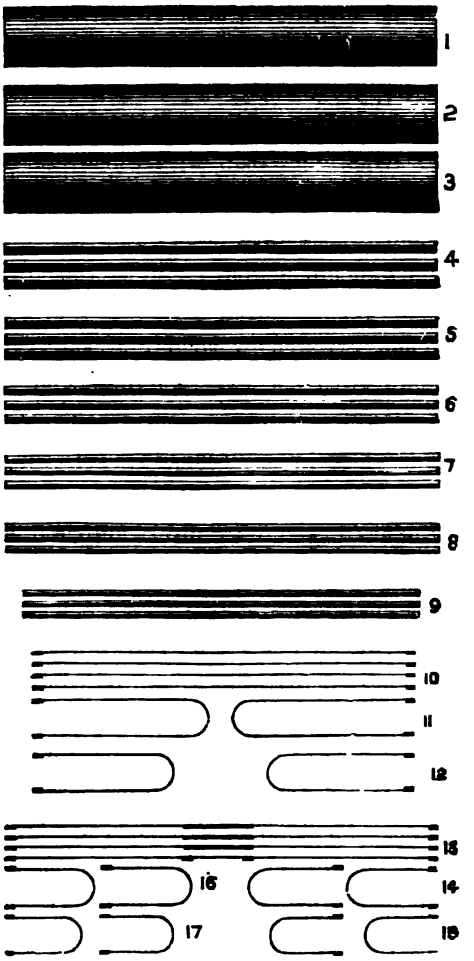
faden in der Kugel gehalten wird und in dem die Platinfäden befestigt werden; durch diese letztere wird der Kohlenfaden mit der Drahtleitung in Verbindung gesetzt. Ein Stück der Röhre Nr. 5 wird an seinen beiden Enden erwärmt und zugespitzt, wie Nr. 6 zeigt. An zwei mittleren Stellen wird die Röhre verdickt, wie Nr. 7 angibt, und zwischen diesen Puncten entzwei geschnitten, so dass zwei Röhren Nr. 8 und 9 entstehen. Durch eine solche Röhre werden zwei Platindrähte gezogen, siehe Nr. 10. Das offene Ende der Röhre wird wieder erwärmt und flach gedrückt, so dass die Platindrähte fest eingeschmolzen werden, wobei darauf zu achten ist, dass sich die beiden Drähte nirgends berühren. An die kleinen, hervorragenden, umgebogenen Enden der Platindrähte Nr. 11 werden kurze Kupferdrähte angelöthet und an dieselben durch einen elektrolytischen Niederschlag von reinem Kupfer die Enden des Kohlenfadens befestigt. Der so präparirte Glasstiel mit dem Kohlenfaden wird dann in den Hals der Glaskugel eingesetzt und der verdickte Theil desselben mit der Oeffnung der Kugel verschmolzen, so dass das Ganze ein einziges Stück bildet. Nr. 12 zeigt zugleich auch, auf welche Weise die Röhre, durch welche die Lampe ausgepumpt wird, zuzubereiten ist. Sie enthält zwei capillare Zusammenziehungen. Diese Röhre wird mit einer Luftpumpe von *Sprengel* verbunden und nachdem die verlangte Verdünnung erreicht ist, wird die Lampe bei der neben der Pumpe gelegenen Contraction abgeschmolzen. Zuletzt wird das übrig bleibende Stück von der Röhre unmittelbar vor der Kugel abgeschmolzen und erhält dadurch die Lampe die in Nr. 13 ersichtliche Form. Es bleibt jetzt nur noch übrig, die Platinfäden mit dem später zu beschreibenden Verschlusse zu versehen, der auch in Nr. 14 bereits angedeutet ist.

Für die Darstellung des Kohlenfadens hat *Edison* eine grosse Reihe von Versuchen gemacht mit einer grossen

Digitized by Google

Zahl von Pflanzen und Gespinnstfasern und kam so zu dem Schlusse, dass eine gewisse Art von japanesischem Bambus die grössten Vortheile bietet, sowohl in Rücksicht auf die

Fig. 359.



Herstellung des Kohlenfadens für die Edison-Lampe.

Leichtigkeit der Verarbeitung als auch wegen der erzielten Gleichförmigkeit der Structur bei der Bereitung des Glüh-

Digitized by Google

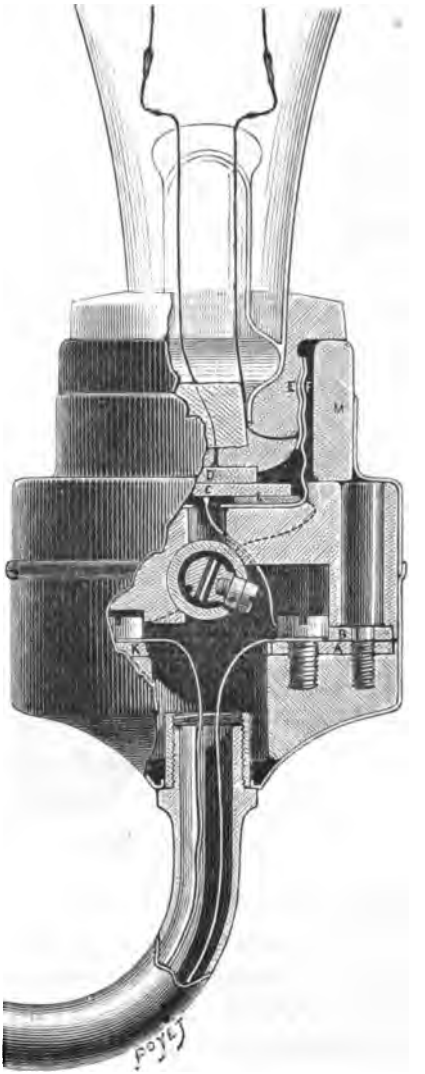
fadens. Auf der elektrischen Ausstellung in Paris zeigte *Edison* eine grosse Sammlung von untersuchten Fasern verschiedener Stoffe, darunter von 20 Bambusarten. Er zeigte auch in einem Tableau, das wir in Fig. 359 darstellen, die wichtigsten Momente bei der Herstellung der Kohlenfäden. Die Bambusrohre werden zuerst in Stücke von der erforderlichen Länge gesägt, Nr. 1. Ein solcher Cylinder wird dann in der Mitte entzwei gespalten in die Stücke Nr. 2 und 3. Jedes derselben wird wiederum in 3 kleinere Streifen Nr. 4 und 5 gespalten. Die äussere kieselhaltige Hülle des Bambusrohres wird dann entfernt und der faserige Theil zu einem gleichförmigen Streifen von gleicher Dicke geschabt. Diese repräsentiren Nr. 6 bis 9. Die so entstehenden flachen Streifen werden ein jeder für sich mit der breiten Seite zwischen zwei Metallblöcken gepresst, so dass die eine Hälfte vorsteht, während die andere Hälfte zugedeckt wird. Der hervorstehende Theil wird mit einem scharfen Messer weggeschnitten bis auf kleine Stücke an den beiden Enden, welche in ihrer ursprünglichen Breite beibehalten werden (Nr. 10). Alsdann werden die präparirten Fibern in Formen gelegt, welche aus Nickelplatten bestehen und in welchen Vertiefungen von Formen 11 und 12 eingeschnitten sind. In diese werden die Fäden gelegt und eine zweite Nickelplatte darüber gepresst, so dass der Luftzutritt ausgeschlossen ist. Diese Formen werden dann in einem Glühofen erhitzt und dadurch die Fäden langsam carbonisirt. Für die kleinen Lampen ist der Faden nur ungefähr halb so lang. Es werden bei denselben nicht nur wie in Nr. 10 die Enden breit gelassen, sondern auch in der Mitte wird ein breites Stück ausgespart und die Fiber in der Mitte entzwei geschnitten. Nr. 13, 14 und 15 (Fig. 359) zeigen die Formen und fertigen Fäden für die kleinen Lampen.

Wenn nach der Erhitzung die Formen geöffnet werden,

Digitized by Google

so ist die Präparation der Kohlenfäden beendigt. Dieselben werden nun durch elektrolytische Kupferniederschläge an die Platindrähte befestigt und nach Nr. 12 (Fig. 358) in die Glaskugeln eingesetzt. Die so präparirte Lampe wird nun mit der *Sprengel*'schen Luftpumpe in Verbindung gesetzt und fortwährend ein möglichst vollständiges Vacuum in derselben erzeugt. Zugleich werden elektrische Ströme von wachsender Stärke durch den Kohlenfaden geschickt, so dass dieser stark weissglühend wird. Dazwischen wird der Kohlenfaden wieder abgekühlt. Der Hauptzweck dieses Processes besteht darin, die in den Kohlenfäden etwa noch includirte Luft auszutreiben; es soll aber auch der Faden dadurch seinen vollkommen homogenen und elastischen Charakter sowie sein Strahlungsvermögen behalten. Zugleich dient dieser Process des wiederholten starken Erhitzens und Abkühlens als Prüfung für die Güte

Fig. 360.



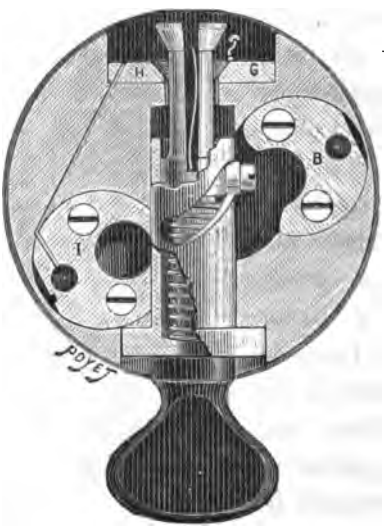
Längsschnitt durch die Edison-Lampe und ihren Sockel.

Digitized by Google

des Fadens, da mangelhafte Fäden während desselben brechen.

Die Fig. 360 und 361 veranschaulichen Fassung und Sockel der Lampe in Längs- und Querschnitten. Die Lampe wird in das Muttergewinde *F* (Fig. 360) eingeschraubt. Es kommt dabei die den einen Pol der Lampe bildende Messinggarnitur *E* in metallischen Contact mit *F*. Der andere Pol der Lampe, der in die Metallscheibe *D* endet, wird auf die Bodenplatte *C* aufgepresst. *F* und *C* sind mit Leitungsdrähten verbunden und durch eine Scheibe *L* aus Isolir-

Fig. 361.



Querschnitt durch den Sockel.

material von einander getrennt. Innerhalb der zweitheiligen, mit Messingblech bekleideten Holzfassung wird die Leitung durch Berührung zweier aufeinander geschraubter Plattenpaare *B J* und *A K* hergestellt. An erstere sind die von der Messinggarnitur ausgehenden Drähte *C* und *F* angelöthet. Bei letzteren werden die Leitungsdrähte mit Schrauben *A* und *K* gegen die Platten gepresst. Durch die bei

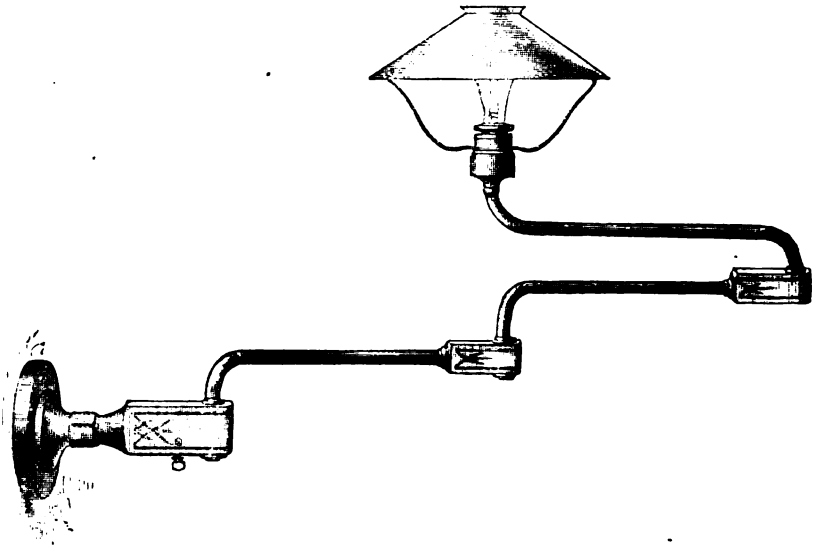
Digitized by Google

Gasbeleuchtungs-Gegenständen übliche Hahndrehung kann die Lampe angezündet und ausgelöscht werden. Zu diesem Zwecke ist der von der Garnitur *F* ausgehende Draht nicht direct zur Platte *J* geführt, vielmehr ist der von *F* kommende Draht mit dem Plattenstück *G* verbunden und der von *J* kommende Draht communicirt mit dem Plattenstück *H*. *G* und *H* sind von einander isolirt und es muss beim Anzünden der Lampe ein Contact zwischen ihnen hergestellt werden, der dem Strom den Uebergang gestattet und durch dessen Unterbrechung das Licht wieder erlischt. Zu diesem Zwecke bilden die Plattenhälften *G* und *H* eine trichterförmige Höhlung und in dieser bewegt sich ein geschlitzter Zapfen, der in einen Konus endigt. Derselbe kann sich der durch die Platten *H* und *G* gebildeten Höhlung genau anschmiegen und wird in diesem Bestreben unterstützt durch die in dem Schlitz angebrachte Druckfeder. Um durch die Drehung des mit dem Zapfen *A* verbundenen Hahns nach beiden Richtungen eine hin- und hergehende Bewegung zu erhalten, ist an dem Zapfen ein Zahn befestigt, dessen Kopf in eine schraubenförmige Coulisse geführt wird. Durch Drehung des Hahns von rechts nach links wird der Zapfenkonus an die Platten *G* und *H* gedrückt, die um denselben liegende Spiralfeder zusammengepresst und der Zahn in seiner Rinne nach innen bewegt. Um den Strom zu unterbrechen, gibt man dem Hahn eine Drehung in entgegengesetzter Richtung, wodurch die Schraube aus dem Anschlage tritt, die Feder sich ausdehnt und der Konus herausgeschnellt wird. Der Strom tritt durch einen der Leiter (Fig. 360) in die Scheibe *A* durch *B* zur Bodenplatte *C* der Fassung, hierauf durch den Contact und die Scheibe *D* in die Lampe, in welcher er nach einander den von letzterer ausgehenden Platindraht und die Kohlenfaser durchfliesst, um durch den andern Platindraht zur Garnitur *E* (Fig. 360) zurückkehren, deren Schraubengewinde ihm

Digitized by Google

den Wiedereintritt in die Fassung durch die Mutter gestattet. Mittelst des an letztern gelötheten Drahtes gelangt der Strom nunmehr zur Scheibenhälfte *G* (Fig. 361), und vorausgesetzt, dass der Hahn zurückgedreht ist, über den-

Fig. 362.



Wandarm mit Gelenken.

selben zur anderen Hälfte, die er durch den Draht *H J* (Fig. 361) und Platte *K* (Fig. 360) in die Rückleitung verlässt.

Fig. 363.

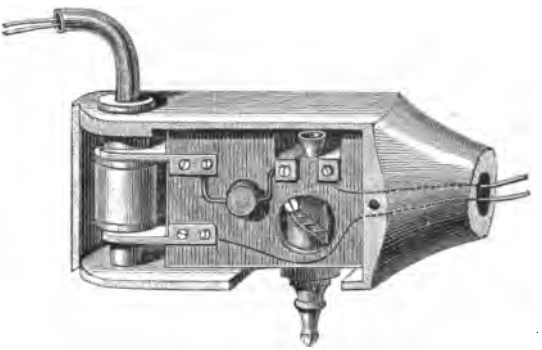
Contacteinrichtung für den beweglichen Wandarm.

Sehr bequem ist die Befestigung der Lampen in beweglichen Wandarmen mit Gelenken, wie Fig. 362 zeigt. Die

Digitized by Google

innere Einrichtung dieser Gelenke ist aus Fig. 363 ersichtlich. Jedes Gelenk enthält eine Kammer, in welche die Leitungsdrähte von der einen Seite eingeführt werden. Die Drähte sind an zwei von einander isolirte Metallstücke befestigt, welche je auf zwei Metallscheiben schleifen. Diese

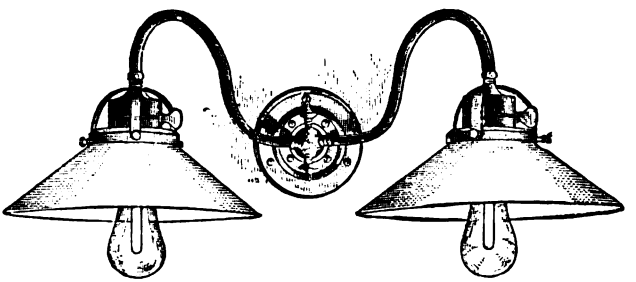
Fig. 364.



Gelenkarm mit Hahn.

Metallscheiben sitzen am verticalen Theile des obern Knierohres ebenfalls von einander isolirt und drehen sich mit dem Rohre. Jede dieser Scheiben ist mit einem Leitungsdrahte verbunden, der in der oberen Röhre weiter fortläuft.

Fig. 365.

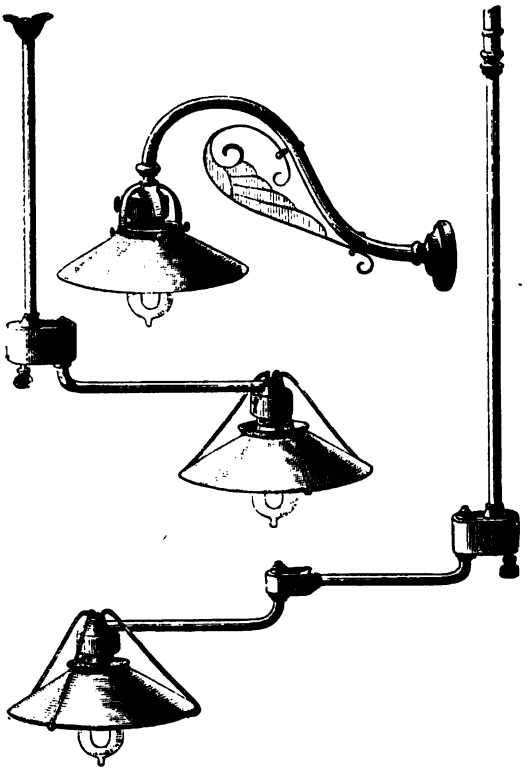


Es ist nun leicht ersichtlich, wie durch diese Anordnung ein beständiger Contact zwischen den Leitungsdrähten bei

Digitized by Google

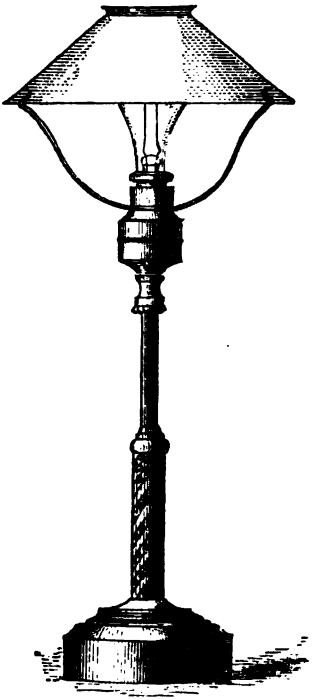
der Drehung des Armes gesichert ist. Fig. 364 zeigt dieses Gelenk mit dem oben beschriebenen Hahn zum Anzünden oder Auslöschen der Lampe versehen.

Fig. 366.



Wandarmen und Lampenhalter für Edison-Lampen.

Fig. 367.



Tragbare Edison-Lampe.

Fig. 365 und 366 zeigen verschiedene Formen von Lampenhaltern mit Ausrüstung. Fig. 367 zeigt eine tragbare Lampe. Den Contact vermitteln Leitungsschnüre, durch deren Länge das Gebiet, in welchem die Lampe bewegt werden kann, begrenzt wird.[1])

1) Wegen weiterer Information über elegantere Beleuchtungskörper verweisen wir auf den Katalog von *Schäfer & Hauschner* in Berlin.

Digitized by Google

144. Die Swan'sche Lampe. Zu gleicher Zeit wie *Edison* gelangte auch *Swan* zum Ziele, eine brauchbare Incandescenzlampe zu construiren. Schon 15 Jahre vorher versuchte er eine Lampe herzustellen mit einer kleinen Spirale von Carton, welche verkohlt und in dem Innern einer Glasröhre befestigt wurde. Diese Glasröhre wurde zwar möglichst gut ausgepumpt; aber die ihm zu jener Zeit zur Verfügung stehenden Apparate gestatteten ihm nur, einen höchst unvollkommenen luftleeren Raum zu erzeugen. Der durch die Kohlenspirale geleitete Strom vermochte dieselbe bis zur Rothgluth zu erhitzen, aber es war unmöglich, die Weissgluth zu erreichen, welche allein die richtige Lichtquelle bilden konnte. Ausserdem schwärzten sich die inneren Wände der Glasröhre durch Kohlendämpfe, welche bei der theilweisen Verbrennung der Kohlenspirale gebildet wurden. Der Grund des Misserfolges lag in der Unvollkommenheit des luftleeren Raumes, in Folge dessen die Lampe für weitern Gebrauch untauglich wurde. Aber im Jahre 1877 machte *Crookes* seine wunderbaren Experimente mit dem Lichte im luftleeren Raume und zeigte, dass mit der Quecksilberpumpe von *Sprengel* luftleere Räume von unvergleichlich höherer Vollkommenheit erzielt werden können.

Dies veranlasste *Swan*, seine Versuche wieder aufzunehmen. Er arbeitete nun mit einem bessern Vacuum, aber trotzdem wurde die Kohle langsam zersetzt und die Glaskugeln wurden geschwärzt. *Swan* fand bald, dass dies in der von der Kohle in kaltem Zustande absorbirten Luft herrühre. Er äussert sich hierüber folgendermaassen:

„Wenn diese Hypothese (dass die Kohle sich verflüchtige) auf Thatsachen begründet wäre, würde jeder fernere Versuch, incandescente Kohlenlampen dauerhaft zu machen, eine Zeitverschwendung sein; und dauerhaft müssen sie sein, wenn sie irgend praktischen Werth haben sollen. Glücklicherweise nahm ich die Experimente nicht als entscheidend an, welche zu beweisen schienen, dass Kohle flüchtig sei und dass das Anschwärzen der Lampenkugeln mit dem sehr starken

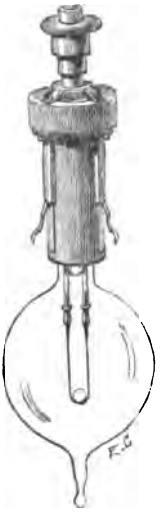
Digitized by Google

Erhitzen der Kohle stets verbunden sei. Ich wusste, dass die Bedingungen, unter welchen alle vorgängigen Experimente ohne Zweifel angestellt wurden, derartig waren, dass man bei keinem ein vollkommenes Vacuum in den Lampen voraussetzen konnte. Stets wurden Schraubenverbindungen angewendet, um die Mündung der Lampe zu schliessen, und die gewöhnliche Luftpumpe diente in der Glaskugel zum Evacuiren. Unter solchen Umständen war es sicher, dass ein beträchtlicher Rückstand von Luft bleiben würde, und dass ausserdem der Verschluss nicht dicht hielt. Denn man hatte weder an das Gas gedacht, welches in der Kohle enthalten ist und das sich, wenn dieselbe durch den Strom glühend wurde, entwickelte, noch hatte man genügende Sorgfalt darauf verwendet, den Widerstand der Verbindungsstellen der Kohle gering zu machen. Es war mir klar, dass man vor irgend einer endgültigen Entscheidung über die Frage der Verflüchtigung der Kohle, als der Ursache des Anschwärzens der Glaskugeln und des Schwindens des Kohlenstiftes, zunächst den Versuch machen müsste, die Kohle in einem möglichst guten Vacuum und in zweckmässige metallische Verbindungen gefasst der höchsten Weissgluth auszusetzen. In dieser Absicht sandte ich im October 1877 *Mr. Stearn* eine Anzahl Kohlen von carbonisirtem Carton mit dem Ansuchen, dieselben für mich durch einen Glasbläser in Glaskugeln montiren zu lassen und dann die Luft so gut wie möglich auszupumpen. *Mr. Stearn* war so gütig, dieses zu unternehmen, und führte es auch sehr geschickt aus. Um ein gutes Vacuum herzustellen, fand man es für nothwendig, die Kohle bis zu einem sehr hohen Grade durch den elektrischen Strom während des Auspumpens zu erhitzen, um das Gas, welches die Kohle in kaltem Zustande absorbirt, auszutreiben; denn so gut auch das Vacuum vor dem Erhitzen der Kohle war, so wurde dasselbe doch, sobald der Strom die Kohle weissglühend machte, durch das Austreiben des Gases vernichtet, welches die Kohle in kaltem Zustande absorbirt hatte. Um einen guten Contact zwischen der Kohle und ihren Fassungen zu machen, wurden die Enden derselben verstärkt, und in einigen der früheren Experimente galvanisirt und an die Platindrähte gelöthet. Ich will Sie jedoch nicht mit Einzelheiten ermüden, sondern nur kurz anführen, dass, als die beschriebenen Bedingungen vollkommen erfüllt waren, man nach vielen mühsamen Experimenten gefunden hat, dass, wenn das Vacuum in der Lampe gut ist und der Contact zwischen der Kohle und den Klammern, welche sie tragen, hinreichend ist, weder Anschwärzen der Kugeln noch ein Schwinden der Kohlen zu bemerken ist. So wurde ein schädlicher Irrthum beseitigt. Es blieb nur übrig, die Einzelheiten der Lampe zu vervollkommnen, das beste Material für die Kohlen zu finden und dasselbe auf die beste Weise in der Lampe zu befestigen."

Digitized by Google

Dadurch nun, dass die Kohle während der Herstellung des Vacuums ständig in Rothgluth erhalten wird, gibt sie alle absorbirte Luft ab, und wenn so während längerer Zeit das Vacuum immer erneuert wird, kann man alle absorbirte Luft aus der Spirale austreiben. Dieselbe wird dabei zugleich unendlich viel härter und erreicht eine Elasticität, welche mit derjenigen eines Stahldrahtes vergleichbar ist. Durch seine fortgesetzten Versuche gelangte schliesslich *Swan* dazu, eine Lampe herzustellen, welche allen praktischen Anforderungen genügt und in letzter Zeit grosse Verbreitung erreicht hat. Gegen das Ende des Jahres 1880 führte *Swan* seine Lampe der Litterary and Philosophical Society of Newcastle vor, in der Form, welche in Fig. 368 abgebildet ist. Die Kohlenspirale wird aus einem Baumwollfaden hergestellt, der zuerst mit Schwefelsäure behandelt wird, welche mit $^1/_3$ Wasser verdünnt ist. Durch diese Behandlung wird der Baumwollfaden hart wie Pergament und in diesem Zustande in Kohlenpulver eingebettet, das bis zur Weissgluth erhitzt wird. Nachher kommt er in die Glaskugel, welche einen Durchmesser von ungefähr 8cm hat. Diese Glaskugel wird mit der Quecksilberpumpe evacuirt, während der Faden von einem durchgehenden elektrischen Strome rothglühend gemacht wird. Die Evacuirung wird eine halbe Stunde lang fortgesetzt, um alle Luft aus der Kohle auszutreiben. Die Kohlenenden werden an Platindrähte gelöthet, welche in die Glaskugel eingeschmolzen sind. Nachdem die Kugel vollständig evacuirt und alle Luft aus der Kohle entfernt ist, wird die Glaskugel zugeschmolzen und die Lampe ist zum Gebrauch fertig.

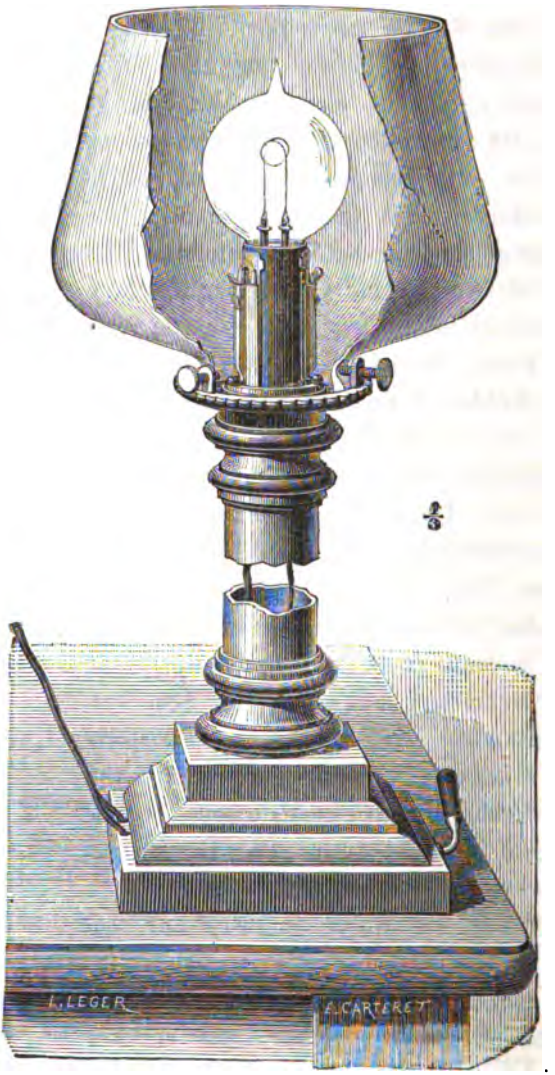
Fig. 368.



Glühlampe von Swan.

Digitized by Google

Fig. 369.



Tragbare Lampe von Swan.

Digitized by Google

Es besteht zwischen dem Processe von *Edison* und *Swan* ein principieller Unterschied, die Kohlenfäden zu bilden. *Edison* hält darauf, Kohlen mit Pflanzenstructur zu verwenden, weil er glaubt, dass eine solche Kohle allein die Eigenschaft besitze, mit einem kleinen Querschnitte einen möglichst hohen Widerstand zu erzeugen und dabei der zerstörenden Einwirkung einer intensiven Hitze zu widerstehen. *Edison* verwendet daher für seine Lampen solche Substanzen, welche von Natur aus sehr zähe und dicht sind und ist bei seinem Verkohlungsprocess darauf bedacht, die natürliche Structur der Substanzen möglichst wenig zu alteriren; *Swan* dagegen sucht ein Material zu erhalten, welches möglichst homogen und gleichförmig ist. Bei seinem Verkohlungsprocesse zerstört er desshalb möglichst vollständig die cellulose Structur durch Behandlung mit Schwefelsäure. Die Erfahrung scheint zu zeigen, dass man auf beiden Wegen eine dauerhafte Kohlenfaser erhält.

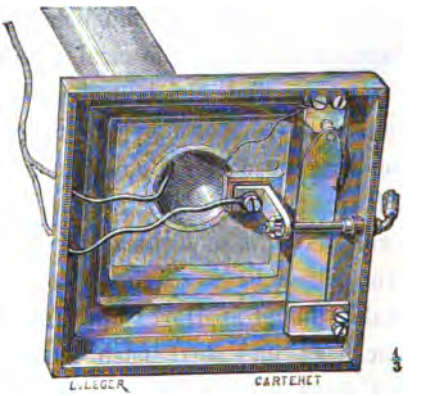
Die Kohle von *Swan* ist so hart und elastisch wie eine Uhrfeder aus Stahl, nimmt an Härte und Unverbrennlichkeit mit dem Gebrauche zu und setzt nach längerm Gebrauche der Verbrennung einen solchen Widerstand entgegen, dass sie selbst das Erhitzen in einer Blasrohrflamme für eine bedeutende Zeit erträgt. Sie wird nur in einem haarfeinen Faden (0,01 Zoll im Durchmesser und 0,02 Grain pro Zoll) verwendet, aus welchem eine Schlinge gebildet ist, deren Enden mit stromzuführenden Platindrähten verbunden sind. Die letzteren sind, so weit sie innerhalb des an die Glaskugel sich anschliessenden cylindrischen Theiles des luftleeren Gefässes verlaufen, bis an ihr Ende mit einer Glashülle bekleidet, welche wiederum mit der Gefässwand verschmolzen ist. Hierdurch soll verhindert werden, dass die Lampe leck wird, auch wenn die Platindrähte an der äusseren Eintrittsstelle in das Gefäss nicht mehr dicht schliessen. Die *Swan*'sche Lampe liefert ein der Stärke des Stromes

Digitized by Google

entsprechendes Licht; bei einem Lichte von etwa 30 Kerzen soll sie mehrere Monate lang Dienste leisten.[1])

Fig. 369 zeigt eine von *Swan* construirte Stehlampe. Der elektrische Strom wird derselben durch biegsame lange Drähte zugeführt, welche eine Bewegung derselben innerhalb eines gewissen Gebietes mit sehr grosser Leichtigkeit gestatten. Innerhalb ihres Fusses enthält sie eine Vorrichtung, um sie durch einfache Drehung eines kleinen Hebels,

Fig. 370.



Fuss zur tragbaren Lampe von Swan.

der äusserlich an der Lampe vortritt, wie Fig. 370 zeigt, in die Leitung ein- und auszuschalten.

Fig. 371 zeigt noch eine Montirung der Lampe, wie sie *Swan* für den Gebrauch in Bergwerken construirt hat. Die Glaskugel der eigentlichen Lampe ist von einer zweiten Glaskugel umschlossen und der Zwischenraum zwischen

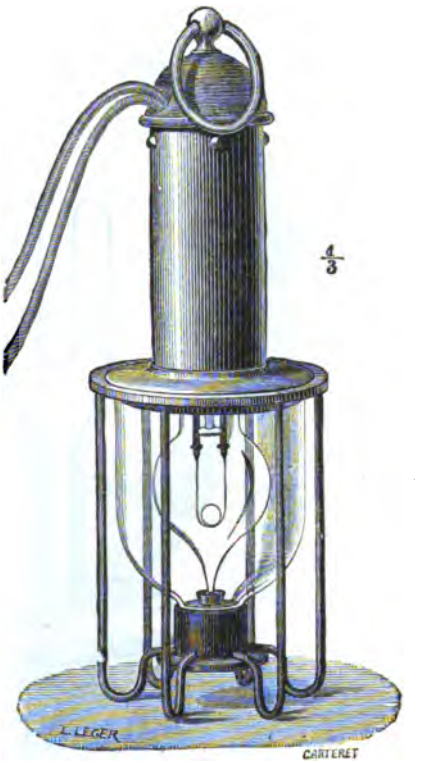
---

1) E. Z. II, p. 150, Z. f. a. E. III, p. 19 und ff., sowie p. 70, 126 und 221 (über Anlagen mit S.-Lampen), sowie The Electrician, Vol. VII, Nr. 14. Die verschiedenartigen Fassungen der *Swan*'schen Lampen zum Gebrauche von Bergwerken u. s. w.

Digitized by Google

beiden mit Wasser ausgefüllt. Dadurch wird einmal eine directe Feuersgefahr gänzlich unmöglich gemacht und dann auch jede Explosion ausgeschlossen, da die äussere Wand nicht nennenswerth erwärmt werden kann.

Fig. 371.

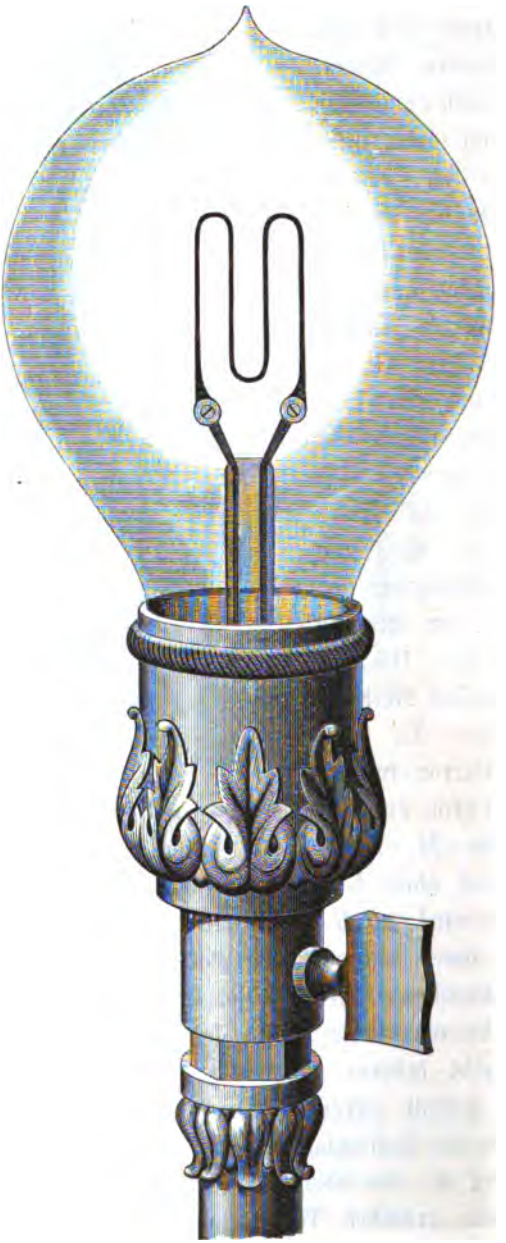


Swan-Lampe für Bergwerke.

145. Maxim's Lampe (vgl. Fig. 372). Grosse Verdienste um die Vervollkommnung der Glühlicht-Lampen erwarb sich auch *Maxim*, da dieser zuerst zeigte, dass die rationelle Anfertigung der Kohlenfaser von grosser Wichtigkeit sei. Die von *Maxim* erdachte Methode war folgende. Es wird ein Stück Carton in der geeigneten Form, etwa in Gestalt eines *M*, zugeschnitten und ohne Luftzutritt durch Erhitzen verkohlt. Diese Faser wird durch Metallschrauben an ihren Enden im Innern einer dünnen Glasglocke aufrecht erhalten; zu den Schrauben führen Zuleitungsdrähte, welche fest in die Glocke eingekittet sind. Diese ist so eingerichtet, dass sie leicht luftleer gemacht und mit einem Kohlenwasserstoffe gefüllt werden kann, während der elektrische Strom durch die Kohlenfaser geht. Ist nun ein Theil der Kohle dünner als die übrigen, so wird dieser Theil dem Strome einen grössern Widerstand entgegensetzen, sich

Digitized by Google

Fig. 372.

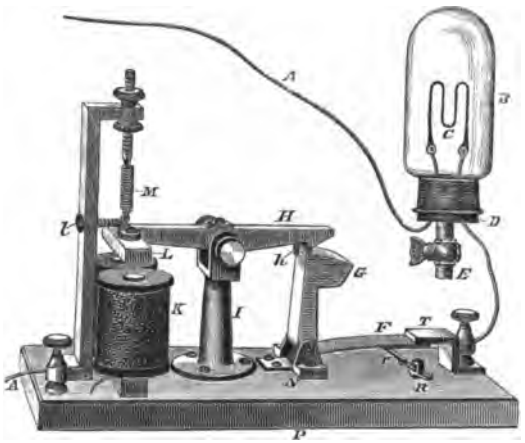


Lampe von Maxim.

Digitized by Google

daher bedeutender erhitzen und folglich den Kohlenwasserstoff zersetzen, dessen ausgeschiedener Kohlenstoff sich auf den schwächern Theil der Faser in Form gewöhnlicher Gaskohle ablagert. Hat sich genug dieser Kohle auf der betreffenden Stelle angelegt, um ihre leitende Kraft zu erhöhen und ihre Temperatur zu erniedrigen, so hört daselbst die Ablagerung der Kohle auf. Wird aber der Strom verstärkt, so wird in entsprechender Weise eine andere schwache Stelle ausgebessert; die Stromstärke wird nur stufenweise bis zur intensiven Weissglühhitze der Faser

Fig. 373.



Apparat zur Aichung der Kohlenfäden der Maxim-Lampe.

vergrössert, die sich dann mit einem gleichförmigen Mantel aus Gaskohle umkleidet hat. Der Papierstreifen wird so dünn gewählt, dass die Lampe ursprünglich einen erheblich grössern Widerstand hat, als verlangt wird, und dann wird durch den beschriebenen Process durch Ablagerung von Gaskohle der Widerstand bis auf 75 Ohm verkleinert. Diese Controle wird automatisch ausgeführt von dem kleinen in Fig. 373 abgebildeten Apparate. Der elektrische Strom durchfliesst den verkohlten Papierstreifen *C*, der in einem

Digitized by Google

mit Gasolin gefüllten Gefässe *B* sich befindet; von da geht er über *T* durch die Feder *F* nach dem Elektromagnet *K* und verlässt bei *A* wieder den Apparat. Die Armatur *L* des Elektromagnets ist durch eine Spiralfeder *M* regulirt, so dass nur eine ganz bestimmte Stromstärke dieselbe anziehen kann. Wenn nun bei andauerndem Kohlenniederschlag der Widerstand der Lampe immer kleiner wird, wächst in gleichem Maasse der sie durchfliessende Strom, bis letzterer stark genug geworden ist, die Feder *M* zu überwinden und die Armatur *L* anzuziehen. Sobald dies geschieht, wird der durch die Nase *H* bisher festgehaltene Hammer *G* frei. Er fällt auf die Feder *F* und unterbricht plötzlich den Strom bei *T*. Am Zurückspringen wird die Feder durch den eingreifenden Zahn *R* verhindert. Die Lampe *B* ist nun geaicht. Die Glocke wird aus dem Stromkreis ausgeschaltet. Ist das Kohlenwasserstoffgas bei dem Zersetzungsprocess nicht vollständig verbraucht worden, so wird der Rest ausgetrieben, worauf die Glocke möglichst luftleer verschlossen wird.

Der geschilderte Process bietet zwei Vortheile: einmal wird die Faser mit einem Mantel einer Gaskohle bekleidet, welche mechanischen Einflüssen und der Einwirkung der Hitze ungewöhnlich grossen Widerstand leistet; sodann ist die Faser so gleichförmig, dass sie allenthalben gleiche Temperatur haben dürfte, so dass der auf Seite 655 erwähnte Zersetzungsprocess nur langsam erfolgen kann.

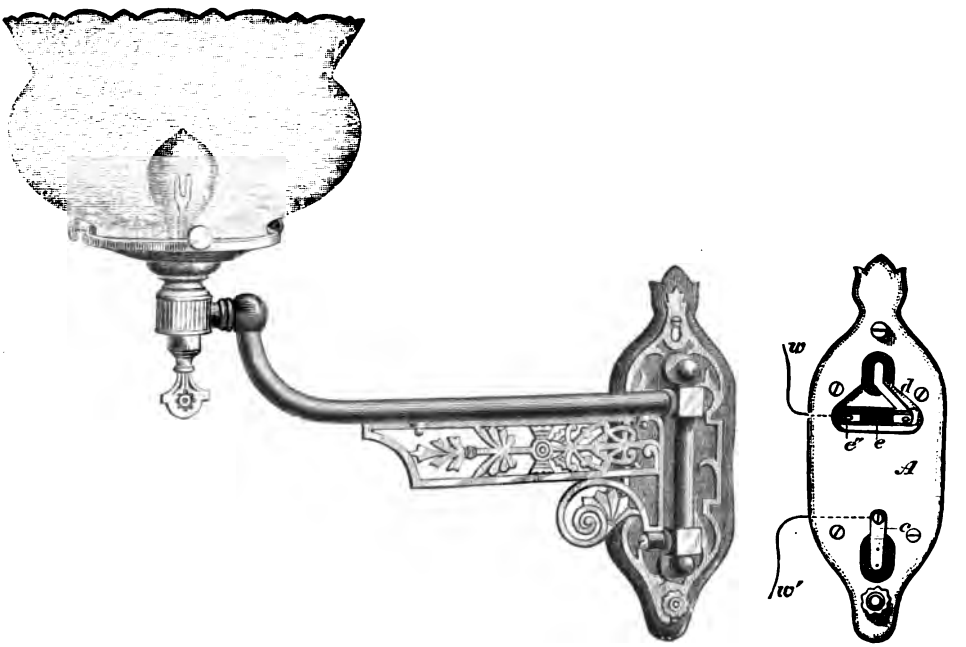
Die *Maxim*'sche Lampe hat seither gute Resultate geliefert; nach den Untersuchungen *Morton's* beträgt die Leuchtkraft einer Lampe, deren Glocke einen Durchmesser von ca. 7,60cm hat, 38,90 bezw. 200 Kerzen, wenn die Stromstärke 2,488, 2,957 bezw. 3,579 Ampère beträgt. Die Leuchtkraft nimmt demnach mit der Stärke des Stromes zu, darf aber nur bis zu einer bestimmten Grenze gesteigert werden, wenn die Lampe nicht erlöschen soll. Dieser Punct

Digitized by Google

wurde bei der erwähnten Lampe erreicht, als sie eine Lichtmenge von 650 Kerzen ausströmte; bei einer Lichtmenge von 200 Kerzen während mehrerer Stunden war indessen eine Beschädigung oder Abnutzung der Lampe nicht zu constatiren.[1])

In Fig. 374 sehen wir einen für den Salon bestimmten Lampenhalter mit Blendglocke. Derselbe ist nach verschie-

Fig. 374.



Maxim-Lampe mit Sicherheitsschluss.

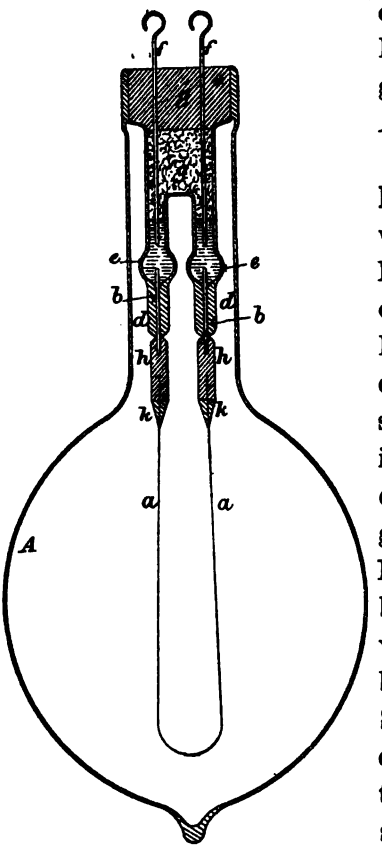
denen Richtungen drehbar und mit einem Sicherheitsschluss versehen. Auf der Platte *A* sind die zwei Contactfedern *c* und *d* befestigt, welche auf die Enden der von der Lampe kommenden Leitung pressen. Der Strom wird der Lampe durch die Drähte *w w'* zugeführt, doch ist der eine Draht

1) Vgl. Z. f. a. E., Bd. 3, p. 243. L'ingénieur 1881, Nr. 1, p. 4.

Digitized by Google

w nicht mit der Feder *d* verbunden, sondern mit der Klemme *e''*, welche von jener durch einen leicht schmelzbaren Körper *e* getrennt ist. Sobald nun der Strom so stark wird, dass er die Lampe gefährden könnte, schmilzt *e* ab und unterbricht den Strom.

Fig. 375.



Die Lampe von Lane Fox.

Das Verfahren *Maxim's*, eine gute und gleichförmige Kohle zu gewinnen, befolgen im Wesentlichen auch *Lane Fox* und *Sawyer*.

146. Die Lampen von Lane Fox und Sawyer. *Lane Fox* windet zur Herstellung der Faser einen Faden von Flachs oder Baumwolle um ein Stück Kohle oder Graphit von der erforderlichen Gestalt, verschliesst das Ganze hermetisch in einen Schmelztiegel und erhitzt es alsdann zur Weissgluth. Die so carbonisirten Fäden werden nachher jeder besonders in eine Atmosphäre von Kohlenwasserstoff gebracht und ein galvanischer Strom hindurchgeleitet, um durch ihr Erglühen eine weitere Ablagerung von Kohlenstoff zu bewirken. Die Enden der Fäden *a* werden durch kleine Kohlencylinder *h* mit den Platindrähten *b* verbunden. Zu diesem Zwecke werden in die Kohlencylinder feine Löcher gebohrt, in welche die Drähte und Fäden hineingesteckt und fest ge-

Digitized by Google

macht werden. Die Platindrähte sind in den Glasröhren *d d* eingeschmolzen, welche mit Quecksilber *e* gefüllt sind, um einen hermetischen Verschluss herzustellen. Der Strom wird der Lampe (Fig. 375) durch die Platindrähte *f f* zugeführt; dieselben tauchen ebenfalls in das Quecksilber *e*. Das letztere wird abgeschlossen durch eine Schicht Baumwollwatte *g*, auf welche noch eine Lage Gyps *g'* aufgegossen wird. Die Lampe wird durch *F* mit der Exhaustionspumpe in Verbindung gebracht und *A* während des Pumpens zur Weissgluth erhitzt, um die eingeschlossenen Gase zu entfernen. Diese Operation dauert ca. zwei Tage.[1])

Auch die Methode *Sawyer's* besteht darin, die Kohle bis zu einer äusserst hohen Temperatur zu erhitzen, dadurch, dass durch sie der elektrische Strom fliesst, während sie in einen dichten Kohlenwasserstoff eingetaucht ist. Als solchen aber nimmt *Sawyer* Olivenöl; den besten Erfolg erzielte er mit Weidenkohlenstäbchen, da sich auf diese sehr rasch eine äusserst harte Lage von Kohle absetzt.

Im Gegensatze zu *Fox*, *Maxim* und *Swan* begnügt sich *Sawyer* nicht damit, die Glasglocke einfach luftleer zu machen, sucht vielmehr die a. S. 655 angedeuteten Zersetzungen dadurch zu verhüten, dass er die Lampe mit reinem Stickstoffe füllt und dafür sorgt, dass kein Sauerstoff zurückbleibt.

Sonst kann *Sawyer's* Lampe am ehesten mit *Konn's* Lampe verglichen werden; er wählt keine Faser, sondern einen Kohlenstab, welcher in der Weise befestigt ist, dass eine Leitung der Wärme nach dem untern Theile der Lampe unmöglich ist.[2])

Praktisch als die besten bewähren sich diese Lampen, bei denen die Glocke 2 Zoll breit und 10 Zoll lang ist; ihre Leuchtkraft beträgt ca. 27 Kerzen.[3])

147. Die Theorie der Glühlicht-Lampen.[4]) Der wesentliche Theil der Glühlampen ist der Kohlenfaden. Derselbe wird

1) Vgl. Z. f. a. E., Bd. III, p. 90, 165 und 243.

2) Vgl. Electric light by Incandescence and its application to interior illumination. *Edward Sawyer*.

3) Vgl. Z. f. a. E., Bd. III, p. 62, 63 und 64. Neuerungen von *Lade & Clark*.

4) Vgl. El. Z. 1883, p. 107 (*W. Siemens*).

Digitized by Google

beim Durchgang des elektrischen Stromes erwärmt. Diese Erwärmung muss soweit getrieben werden, dass der Kohlenbügel in eine gewisse Weissgluth geräth und in derselben dauernd erhalten wird. Es muss dann die von dem elektrischen Strom continuirlich erzeugte Wärme den Verlust durch Ausstrahlung decken. Die Arbeit, welche dabei von dem Strome in der Kohle geleistet wird, ist

$$A = e \times i = \frac{e^2}{w} = i^2 \times w,$$

wo e die an den beiden Enden des Kohlenfadens gemessene Spannungsdifferenz, i die vorhandene Stromstärke und w den Widerstand des Kohlenfadens bedeutet. Die Ausstrahlung ist proportional der Kohlenoberfläche. Ist l die Länge des Fadens, u der Umfang desselben, so ist die Oberfläche gleich $l \times u$. Für den Gleichgewichtszustand ist daher

$$e \times i = l \times u$$

unter Weglassung der Constanten und unter Voraussetzung gleicher Erhitzung und gleichen Materials. Die Ausstrahlung bleibt constant, so lange nur das Product $e \times i$ constant bleibt, wenn auch e oder i sich ändert, sofern nur ihre Beziehung erfüllt bleibt. Dieselbe Helligkeit mit Glühlampen kann durch die verschiedenartigsten Ströme erreicht werden, mit Strömen von hoher Spannung und geringer Stärke oder mit Strömen von grosser Stärke und geringer Spannung. Aber nicht die gleiche Lampe kann für verschiedene Stromstärken gebraucht werden, sondern der Widerstand einer Lampe muss der speciellen Stromstärke, bei welcher die Lampe brennen soll, angepasst sein. Derselbe berechnet sich aus der einer gewissen Leuchtkraft entsprechenden Arbeit A und der Spannung und Stromstärke des durchfliessenden Stromes, in Hinsicht auf die Spannung dieses Stromes zu

$$w = \frac{e^2}{A}$$

Digitized by Google

und in Hinsicht auf die Stärke zu

$$w = \frac{A}{i^2}.$$

Diese Relationen bestimmen die Dimensionen des Kohlenfadens. Bezeichnet w_s den specifischen Widerstand des Kohlenfadens für 1 mm Länge und 1 qmm Querschnitt, so ist der Widerstand eines cylindrischen Kohlenfadens von der Länge l und dem Durchmesser d

$$w = \frac{4\, w_s \times l}{d^2 \times \pi}$$

und mit Hülfe der Relation $A = l \times d$ findet man für den Durchmesser des Kohlenfadens

$$d^3 = \frac{4\, w_s \times A}{w \times \pi}$$

und für die Länge des Kohlenfadens

$$l^3 = \frac{A^2 \times w \times \pi}{4\, w_s}.$$

Man sieht daraus, dass die Dimensionen des Kohlenfadens mit der dritten Potenz wachsen, während der Widerstand desselben nur linear zu- oder abnimmt.

Das vorhandene Kohlenmaterial gestattet nur relativ kleine Variationen in der Construction der Lampen. Wenn der Kohlenfaden noch einigermaassen widerstandsfähig sein soll, darf man ihn nicht dünner als 0,15 mm machen. Soll dieser Faden eine Helligkeit von 10 Normalkerzen geben, so ist eine Spannung von 105 *Volt* nöthig, und dies ist die Spannung, welche allgemein zur Verwendung kommt bei Glühlampen, welche auf hohe Spannung eingerichtet sind. Wollte man auf diese Helligkeit verzichten und nur Lampen von 20 Kerzen und mehr Helligkeit construiren, so könnte man auch höhere Spannungen verwenden. Das Verhältniss von Länge und Durchmesser des Kohlenfadens bei Lampen mit verschiedener Helligkeit wird durch die Forderung bestimmt, dass alle Lampen Licht von gleichem Ton oder

Digitized by Google

gleicher Farbe geben, was dann der Fall ist, wenn der Kohlenfaden gleich stark erhitzt wird. In diesem Falle müssen sich die Oberflächen der verschiedenen Kohlenfäden wie die entsprechenden Lichtstärken verhalten.

Die Firma *Siemens & Halske* gibt augenblicklich Lampen von drei verschiedenen Lichtstärken aus, von 10, 16 und 25 Normalkerzen; ihre Spannung ist 105 *Volt*. Diese drei Glühlichter sind durch nachfolgende Zahlenangabe näher charakterisirt.

Normal-Kerzen.	Durchmesser. mm	Länge. mm	Querschnitt. qmm	Oberfläche. qmm
10	0,15	110	0,017	50
16	0,20	125	0,031	75
25	0,27	145	0,056	120

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die Querschnitte der Lampen von verschiedener Lichtstärke in schnellerm Grade zunehmen als die Lichtstärken und Oberflächen. Man erzielt damit eine grössere Haltbarkeit und Lebensdauer, die ungefähr im gleichen Verhältniss mit dem Querschnitt zunimmt.

Es ist besonders wichtig, die Temperatur des Kohlenfadens möglichst zu steigern. Die Ausstrahlung eines glühenden Körpers besteht in der Erzeugung einer Wellenbewegung des Aethers, die sich aus einer grossen Zahl einzelner Wellenzüge zusammensetzt. Diese einzelnen Wellenzüge unterscheiden sich von einander durch die Wellenlänge oder Schwingungsdauer einer einzelnen Welle und durch die Grösse der Amplitude einer solchen. Je nach der Grösse der Wellenlänge unterscheidet man dunkle, leuchtende und chemische Strahlen. Mit steigender Temperatur eines Körpers sendet dieser zuerst Wärmestrahlen mit grosser Wellenlänge aus, (vgl. S. 628), dann treten immer

Digitized by Google

neue Strahlen mit kürzeren Wellen hinzu, bei 525° kommen die ersten leuchtenden Strahlen, erst die rothen, dann die gelben, grünen, blauen, violetten, zuletzt die chemischen. Bei steigender Temperatur wird die Ausstrahlung aller Strahlen intensiver, aber im Allgemeinen wächst die Intensität der Strahlen mit kurzen Wellen rascher als die mit langen Wellen. Daraus folgt, dass bei gleicher Gesammt-Emission bei hoher Temperatur viel mehr Licht gewonnen wird als bei niederer Temperatur. Fig. 376 erläutert diese Thatsache an einigen Beispielen. Die Intensität der Strahlen von verschiedener Wellenlänge $\lambda = 0{,}00000$ bis $0{,}0030$ mm sind als Ordinaten in einem Diagramm aufgetragen. Die Diagramme sind auf einen solchen Maassstab reducirt, dass die gesammte ausgestrahlte Energie aller Körper als gleich vorausgesetzt ist. Das Gebiet der sichtbaren Strahlen reicht von 0,0007 mm (roth) bis zu 0,00003 mm (violett) (nicht schraffirt). Man sieht, dass die Fläche des Diagramms, welches den sichtbaren Strahlen entspricht, in allen Fällen nur einen kleinen Bruchtheil der gesammten Energie ausmacht, und zwar bei der Sonne circa $^1/_3$, beim *Volta*-Bogen $^1/_8$ und beim Gasbrenner nur $^1/_{30}$.[1])

Das ist auch die Reihenfolge der Temperaturen, welche diese drei Lichtquellen besitzen. Man sieht daraus aber noch, dass alle unsere Lichtquellen ihren Dienst sehr mangelhaft erfüllen und unser Beleuchtungswesen noch stark verbessert werden kann.

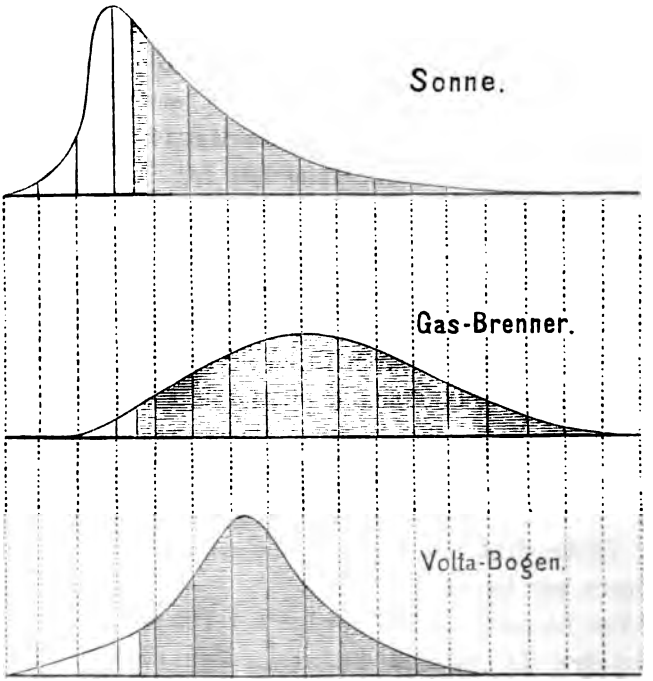
Die Gesammt-Emission ist nach *Stefan* proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur d. h. der Grösse $(273 + t)^4$, wo t die Anzahl Grade nach Celsius des leuchtenden Körpers bedeutet. Die Emission des Lichtes wächst aber noch viel rascher als diese Grösse und kann selbst bei Verdoppelung der Temperatur auf das 100fache an-

1) Vgl. auch *Lecher* in Internationaler Zeitschrift der Wiener Ausstellung, Nr. 1, p. 15.

Digitized by Google

steigen. Das erste Princip beim Betrieb von Glühlampen ist daher, die Temperatur des Kohlenfadens so hoch zu steigern, als die Constitution der Kohle nur immer es erlaubt.

Fig. 376.



Emission der Licht- und Wärmestrahlen.

Die Ursache der Zerstörung des Kohlenfadens scheint hauptsächlich ausser in mechanischer Erschütterung in einem elektrolytischen Processe zu liegen, der den Faden an der Eintrittsstelle des Stromes schwächt. Diese Thatsache ist von *Edison* zuerst nachgewiesen und seither überall bestätigt gefunden worden. Die Ursache derselben sucht man darin, dass das den Faden umgebende Vacuum nicht ein vollständiges Dielectricum, sondern ein theilweiser Leiter ist, so dass von der Eintrittsstelle des Stromes in die

Digitized by Google

Lampe derselbe nach allen Richtungen durch das Vacuum wegfliesst und kleine Kohlentheilchen mitreisst. *Ganz & Cie.* in Budapest vermeiden diese Schwächung des Kohlenfadens erfolgreich, indem sie Wechselströme zum Betrieb der Glühlampen verwenden; dadurch soll die Dauer einer Lampe verdoppelt werden.

Während der Pariser Ausstellung waren die Glühlichter Gegenstand ausgedehnter Untersuchung, erstens seitens der schon erwähnten Commission, zweitens von Seiten einer Special-Commission, die ausschliesslich Messungen an Glühlichtern ausführte.[1]) Wenn auch die Angaben durch neuere Verbesserungen theilweise überholt sind, so geben sie doch einen richtigen Ueberblick über die Leistungsfähigkeit der genannten Lichter.

Folgende Tabelle[2]) enthält die Resultate der Special-Commission, die aus den Herren *Barker*, *Crookes*, *Hagenbach*, *Kundt*, *Mascart* zusammengesetzt war.

	16 Kerzen L.				32 Kerzen L.			
	Edison.	*Swan.*	*Lane Fox.*	*Maxim.*	*Edison.*	*Swan.*	*Lane Fox.*	*Maxim.*
Kerzen	15,38	16,61	16,36	15,96	31,11	33,21	32,71	31,93
Ohm	137,4	32,78	27,40	41,11	130,03	31,75	26,59	39,60
Volt	89,11	47,30	43,63	56,49	98,39	54,21	48,22	62,27
Ampère	0,651	1,471	1,593	1,380	0,7585	1,758	1,815	1,578
Voltampère	57,98	69,24	69,53	78,05	74,62	94,88	87,65	98,41
Kilogrammeter	5,911	7,059	7,089	7,939	7,604	9,67	8,936	10,03
Lampen per Pferdestärke	12,73	10,71	10,61	9,48	9,88	7,40	8,47	7,50
Kerzen per Pferdestärke	196,4	177,92	173,58	151,27	307,25	262,49	267,89	239,41
Lampen von 16 oder 32 Kerzen per Pferdestärke	12,28	11,12	10,85	9,45	9,60	8,20	8,65	7,48

1) Comptes rendus, XCV, 946 u. ff.

2) Exposition internationale d'Electricité, Paris 1881. Rapports II, p. 373 ff.

Digitized by Google

In der folgenden Tabelle geben wir sodann die Resultate der elektrotechnischen Versuche in München.[1]) Bei Vergleichung der beiden Tabellen ergibt sich, dass beide Messungen nicht genau übereinstimmen, was sich daraus erklärt, dass die Lampen nicht unter genau gleichen Verhältnissen untersucht worden, wodurch aber zugleich auch der nur relative Werth solcher Messungen dargethan ist.

	Maxim.	*Edison.*	*Swan.*	*Siemens.*	*Müller.*			*Crato.*
					A	*B*	*C*	
München 1882.								
Ohm	47,01	139,60	31,91	104,72	58,62	59,52	65,41	8,16
Volt	65,07	103,05	38,38	95,74	74,04	105,22	155,15	22,15
Ampère	1,384	0,755	1,222	0,915	1,263	1,779	2,367	2,715
Pferdestärken	0,1224	0,1057	0,0637	0,1191	0,1271	0,254	0,4991	0,0817
Mittlere Intensität (Kerzen)	13,34	15,32	10,95	14,90	18,43	43,08	102,35	8,47
Kerzen per Pferdestärke	108,98	144,88	171,78	125,14	145,01	169,33	205,05	103,58

Des Interesses halber theilen wir noch die Schlussfolgerungen mit, welche diese Commission aus ihren umfassenden Messungen abgeleitet hat:

1) Die von einer Glühlampe in horizontaler Ebene unter verschiedenen Richtungen ausgesendeten Licht-Intensitäten sind von der Querschnittsform des Kohlenbügels abhängig; ein kreisförmiger Querschnitt desselben bedingt eine nach allen Richtungen der Horizontal-Ebene gleiche Lichtstärke.

2) Die Vertheilung des nach verschiedenen Richtungen von einer Glühlampe ausgesendeten Lichtes ist von der Projection des Kohlenbügels nach dieser Richtung abhängig.

3) Bei einer und derselben Glühlampe wächst die Lichtstärke innerhalb der bei den Beobachtungen eingehaltenen Grenzen proportional mit der dritten Potenz der an der Lampe verbrauchten elektrischen Arbeit.

1) Officieller Bericht über die internationale Elektricitäts-Ausstellung 1883. p. 125 u. ff.

Digitized by Google

4) Die mittleren räumlichen Lichtstärken, welche durch die elektrische Arbeitseinheit (Erg.) erzeugt werden, besitzen nach den Beobachtungen im Mittel folgende Werthe:

Edison A	0,0000376
Edison B	0,0001106
Kleine *Swan*	0,0000848
Grosse *Swan*	0,0000096
Maxim	0,0000148
Siemens	0,0000225
Kleine *Müller*	0,0000213
Mittlere *Müller*	0,0000067
Grosse *Müller*	0,0000021
Cruto	0,0000250.

Wir fügen noch folgende Bemerkungen über die in München zum ersten Mal hervorgetretenen Lampen von *Müller* und *Cruto* bei.

Die Lampen von *Müller* besitzen einen Faden, der schraubenförmig gewunden ist, um zu bewirken, dass das Licht nach allen Richtungen in gleicher Helligkeit ausgestrahlt wird.

Sehr eigenthümlich ist die Herstellung der Lampe von *Cruto* in Turin. Ein ganz dünner Platindraht von ungefähr $^1/_{60}$ mm Durchmesser wird in einer Porcellanröhre erhitzt. Durch diese Porcellanröhre wird ein schwerer Kohlenwasserstoff von der Constitution $C_4 H_4$ geleitet. Bei passender Temperatur der Porcellanröhre zersetzt sich dieser in Kohlenstoff und Aethylen $C_2 H_4$; der Kohlenstoff lagert sich auf dem Platindraht ab und in circa 20 Minuten erhält man einen vollkommenen Kohlenüberzug von grosser Consistenz. Der Platindraht wird nun entfernt, indem man einen Strom durchleitet und durch denselben die Kohle im luftleeren Raume erhitzt. Bei einer gewissen Temperatur verflüchtigt sich das Platin und eine feine Kohlenröhre bleibt zurück, welche, wie die mitgetheilten Zahlen beweisen, sich gut für Glühlampen eignet.

Digitized by Google

C. Glühlicht, welches mittelst Inductionsrollen gewonnen wird.

148. Versuche Jablochkoff's und Varley's.

Die Inductions-Apparate bestehen, wie wir §. 6 näher angeführt haben, im Wesentlichen aus zwei gut isolirten, über einander gewundenen Drahtrollen, von denen die eine innere aus dickem, die andere äussere aus dünnem Drahte besteht. Wenn man durch den dicken Draht einen galvanischen Strom leitet und denselben abwechselnd unterbricht und wieder herstellt, so entstehen bei jedem Schliessen und Oeffnen der Batterie in dem äussern dünnen Drahte Inductionsströme von entgegengesetzter Richtung. Durch viele gut isolirte Drahtwindungen erlangen diese Ströme eine hohe Spannung und geben, wenn die Drahtenden einander nahe gebracht werden, sehr intensive, überspringende Funken. Wenn der durch den dicken Draht fliessende Batteriestrom durch eine besondere Unterbrechungs-Vorrichtung anhaltend sehr rasch hinter einander unterbrochen und wieder hergestellt wird, springen zwischen den genäherten Enden des dünnen Drahtes die Funken wie bei einer Elektrisirmaschine in einem fast ununterbrochenen Strome über und haben eine so hohe Temperatur, dass sie zum Zünden von leicht entzündlichen Substanzen (Sprengmaterialien, Schwefeläther, Leuchtgas u. s. w.) verwendet werden können.

Jablochkoff benutzte diese Inductionsfunken, um Plättchen von feuerfesten Körpern, z. B. von Kaolin, weissglühend zu machen. Zu diesem Zwecke liess er durch den dicken Draht der Inductionsrolle den kräftigen Strom entweder einer *Gramme*'schen Maschine mit Selbstunterbrechung oder einer magnet-elektrischen Maschine mit Wechselströmen hindurchgehen und leitete die überspringenden starken Funken des dünnen Drahtes auf die beiden Seiten eines dünnen Plättchens oder Stäbchens von Kaolin, welches dadurch weissglühend wurde und ein ruhiges, mildes, weisses Licht ausstrahlte. Es wurde auch versucht, die beiden Seiten des Kaolinstäbchens, welches einfach zwischen die beiden Enden des äussern, dünnen Inductionsdrahtes gelegt wurde, mit einer dünnen Schicht Kohle zu überziehen, um durch diesen bessern Leiter den Strom gewissermaassen mehr anzuziehen und ihn auf das schlecht leitende Kaolinstäbchen zu führen. Die Funken sind nicht heiss genug, um das letztere zum Schmelzen zu bringen, wohl aber setzt es dem Durchgange der Inductionsströme einen so grossen Widerstand entgegen, dass eine bedeutende Temperatur-Erhöhung eintritt und das Stäbchen weissglühend wird. Man erhält auf diese Weise statt der überspringenden Funken, welche die Inductionsrolle gibt, ein continuirlich leuchtendes Band, welches eine weit grössere Länge annimmt, als der Funke für sich allein hat. Dieses

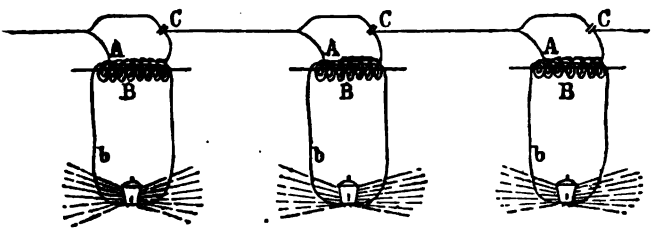
Digitized by Google

rein weiss leuchtende Band, anstatt schnell zu verlöschen wie der Inductionsfunke, bildet eine dauernde Strahlenquelle, welche ein eben so angenehmes und ruhiges Licht gibt, wie eine gut brennende Lampe.

Die Lichtstärke des glühenden Kaolinstäbchens hängt ab von der Stärke des durch den dicken Draht fliessenden Maschinenstromes und von der Zahl und dem Durchmesser der Drahtwindungen. Je nach der Grösse der Inductionsrollen erhält man leuchtende Bänder oder Puncte von sehr verschiedener Stärke; während die helleren einer Lichtstärke von 15 Glasflammen entsprechen, geben die schwächsten ein Licht von 1 bis 2 Gasbrennern. Die Kaolinstäbchen erleiden während ihres Glühens eine gewisse Abnutzung, doch ist dieselbe bedeutend geringer als bei den *Jablochkoff*'schen Kerzen.

Wenn man in den Kreislauf des elektrischen Stromes mehrere Inductionsrollen hinter einander einschaltet und den Strom der Reihe nach durch den dicken Draht aller Rollen hindurchleitet, vgl. Fig. 377, so erhält man in den Kaolinplättchen der dünnen Drähte ebenso viele völlig von einander unabhängige Lichtbänder, als Rollen vorhanden sind. Mit *A A* sind in der Fig. 377 die einzelnen Primärleitungen

Fig. 377.



Elektrische Beleuchtung mittelst Inductionsrollen.

bezeichnet, welche direct mit dem Hauptstrome in Verbindung stehen, mit *B* die Inductionsspiralen, in deren Drähte *b* die Plättchen eingeschaltet sind; *C* bedeutet einen Stromwechsler, der gestattet, jedwede Lampe unabhängig von den anderen nach Belieben zu löschen oder anzuzünden. Auch kann man jede einzelne Rolle dicken Drahtes in verschiedene Abtheilungen zerlegen und darüber eine Rolle dünnen Drahtes winden; es macht dann jede Rolle für sich ein Kaolinband von passender Länge leuchtend und jedes Licht erhält in den vorhin angegebenen Grenzen eine beliebige Lichtstärke. Bei den angestellten Versuchen machte es keine Schwierigkeit, 50 ganz von einander unabhängige Kaolinlichter von verschiedener Lichtstärke durch eine einzige Lichtmaschine herzustellen. Erlischt eines dieser Lichter, so hat das auf die übrigen keinen Einfluss, da jedes seine eigene Drahtrolle hat und

Digitized by Google

nur die inneren Rollen des dicken Drahtes, welche eine einzige ununterbrochene Leitung bilden, eine directe Verbindung mit der Lichtmaschine haben.

Es ist nicht zu leugnen, dass diese Versuche *Jablochkoff's* ein hohes physicalisches Interesse haben; zu einer praktischen Anwendung im Grossen haben sie nicht geführt.

Gleiches ist der Fall mit den Neuerungen Varley's, welcher insofern einen neuen Weg einschlägt, als er an Stelle der seither benutzten Kohlenspitzen einen „Strahl" oder eine zusammenhängende „Schicht" fein gepulverten Graphits oder Kohlenstoffs anwendet. Dieses Pulver füllt er in ein trichterförmig zulaufendes Gefäss, welches durch eine kleine Oeffnung das Hindurchfliessen des Pulvers in der Weise gestattet, wie es bei Sanduhren hinsichtlich des Sandes der Fall ist. An der Mündung dieses Trichters oder an sonstiger Stelle sind Leiter so angeordnet, dass mittelst derselben, da sie andererseits mit der Elektricitätsquelle in Verbindung stehen, der Stromschluss herbeigeführt werden kann. Mag der Elektricitäts-Erreger nun eine kräftige Batterie oder eine dynamo-elektrische Maschine sein; sobald der in die Inductionsspirale geschaltete Strahl durch den Inductionsstrom stark erhitzt wird, strömt er ein beständiges Licht aus, welches so lange ununterbrochen andauert, als der erwähnte Strom pulverisirten Materials anhält. Die Spannung des hierzu erforderlichen elektrischen Stromes braucht nach *Varley* weniger gross zu sein, als die eines solchen, der durch Funken-Springen über einen veränderten Zwischenraum weg die nämliche Wirkung hervorbringen soll.[1])

Schliesslich wollen wir noch erwähnen, dass *Jablochkoff* einen kolossalen Condensator aus gefirnisstem Seidentaffet und Stanniol hergestellt hat, der trotz seiner Grösse zusammengelegt nicht viel Raum einnimmt. Die beiden metallischen Flächen stehen in Verbindung mit den beiden Polen (Bürsten) einer Lichtmaschine für Wechselstrom und bieten den beiden Elektricitäten sehr grosse Oberflächen dar, auf welchen sie sich gegenseitig anziehen, anhäufen und bis zu dem Momente verdichten, wo der Strom seine Richtung wechselt; es folgt dann durch die Ladung mit den entgegengesetzten Elektricitäten zunächst eine Ausgleichung der früheren Elektricitäten und eine neue Ansammlung und Verdichtung der neuen im entgegengesetzten Sinne. Dieses Spiel wiederholt sich ununterbrochen während der Thätigkeit der Lichtmaschine und verändert die Strömung der Elektricitäten durch den Leitungsdraht, wie wir sie ohne Einschaltung des Condensators zu sehen gewohnt sind, in auffälliger und noch nicht ganz aufgeklärter Weise. Wenn man aber bei eingeschaltetem Condensator die Leitung an irgend einer Stelle unterbricht, so entstehen schnell

1) Vgl. Z. f. a. E., Bd. II, p. 203 und 221.

Digitized by Google

hintereinander äusserst lebhafte, glänzende Funken wie Feuerstreifen, umgeben von einer sehr stark leuchtenden, gelben Flamme und von einem tonähnlichen Brummen begleitet, das an Höhe den Tönen der Maschine selbst gleichkommt. Letzteres rührt von der schnellen Erzeugung der zahlreichen Wechselströme und der damit verbundenen Erschütterung der Luft her, und die Uebereinstimmung der beiden Tonhöhen zeigt, dass die periodischen Intervalle zwischen den Funken und die Zahl der durch die letzteren erzeugten Luft-Impulse gegen das Ohr dieselben sind, wie die Unterbrechungen in der Lichtmaschine. *Jamin* bezeichnet diese Erscheinungen als die glänzendsten, welche man auf dem Gebiete der Elektricität machen könne, und fügt hinzu, dass man durch Einschalten eines Condensators in den Kreislauf des Stromes im Stande sei, die Anzahl der *Jablochkoff*'schen Kerzen, die dieser überhaupt speisen könne, zu verdoppeln, dass jedoch die Lichtstärke einer jeden Kerze dadurch auf die Hälfte reducirt werde. Beträgt diese ohne Condensator 50 Carcel-Brenner, so ist sie nach Einschaltung des Condensators nur 25 Carcel-Brenner, aber dafür hat man auch doppelt so viele Lichter, so dass das neue Princip *Jablochkoff's* thatsächlich eine bedeutende Vergrösserung der Theilung des elektrischen Lichtes in sich schliesst.

Digitized by Google

XIII. Abtheilung.

Betriebs- und Regulir-Apparate.

149. Vergleichung der magnet-elektrischen und der dynamo-elektrischen Lichtmaschinen. Man kann die bis jetzt construirten Lichtmaschinen in magnet-elektrische und dynamo-elektrische Maschinen eintheilen; die ersteren zerfallen dann noch in solche mit Stahlmagneten und in solche mit Elektromagneten. Die mit Stahlmagneten versehenen Maschinen, zu denen die Maschinen der Gesellschaft *l'Alliance* und von *Holmes* (§. 28), *Wilde* (§. 31), *Siemens-Halske* (§. 29) und von *de Méritens* (§. 33) gehören, gewinnen die elektrischen Ströme aus permanenten Magneten, die anderen Maschinen erzeugen diese Ströme vermittelst der künstlichen oder der Elektromagnete. Wendet man zur Erregung dieser Elektromagnete besondere, zu diesem Zwecke eigens construirte Stromerreger an, wie bei den neueren Wechselstrom-Maschinen von *Gramme, Lontin* und *Siemens-Halske*, so gehören die entsprechenden Lichtmaschinen zu der Classe der magnet-elektrischen Maschinen; entnimmt man aber die zur Erregung der Elektromagnete erforderlichen Ströme der Lichtmaschine selbst, indem man die Inductordrähte mit denen der Elektromagnete in Verbindung bringt und demnach die Inductorrollen, die inducirend

Digitized by Google

wirkenden Elektromagnete und die in der Leitung befindlichen elektrischen Lichter sich in einem einzigen Stromkreise befinden, so gehört die Lichtmaschine zu der Classe der dynamo-elektrischen Maschinen.

Da die mit Stahlmagneten versehenen Maschinen ihre inducirend wirkende Kraft eben in den permanenten Magneten stets in Vorrath haben, die übrigen Maschinen aber zur Erzeugung kräftiger Magnete besonderer Stromerreger und hierzu eines besonderen Kraftaufwandes bedürfen, so sind die ersteren Maschinen, schon von diesem Gesichtspuncte aus betrachtet, in ökonomischer Beziehung vortheilhafter als die anderen. Aber auch noch in anderer Beziehung haben alle magnet-elektrischen Maschinen, mögen sie gleichgerichtete oder Wechselströme liefern, wenn es sich um die Erzeugung eines möglichst gleichmässigen elektrischen Lichtes handelt, einen grossen Vortheil vor den dynamo-elektrischen Maschinen voraus. Die inducirende Wirkung der Stahlmagnete ist nämlich unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Drahtspulen (der Inductor) vor oder unter ihren Polen vorbeirotiren; diese magnetische Kraft ist ferner ganz unabhängig von den äusseren im Stromkreise befindlichen Widerständen; sie behält stets die gleiche Stärke, mag der Widerstand in der Leitung, also insbesondere in den elektrischen Lichtern, während ihrer Arbeit zu- oder abnehmen. Ganz anders bei den dynamo-elektrischen Maschinen. Hier hängt die Stärke der inducirend wirkenden Elektromagnete ganz von der Stärke der erzeugten Inductionsströme, also von der Geschwindigkeit der Rotation, ab und die kleinsten Schwankungen in diesen Inductionsströmen übertragen sich sofort auf die erregenden Elektromagnete, welche dann ihrerseits wieder verstärkend oder schwächend auf die Inductionsströme einwirken. Schon ein unbedeutendes Gleiten des Treibriemens macht sich in den Strömen einer dynamo-elektrischen Lichtmaschine und

Digitized by Google

daher in dem elektrischen Lichte selbst fühlbar; aber sehr viel mehr noch thun dies etwaige Schwankungen in den äusseren Widerständen, also Veränderungen in der Länge des Flammenbogens zwischen den Kohlenspitzen. In dem Augenblick, wo diese beim ersten Schliessen der Leitung zusammenstossen und der das Licht erzeugende Strom zuerst auftritt, ist der Widerstand in der Leitung verhältnissmässig gering und der Strom daher entsprechend stark. Springen nun die Kohlenstäbe unter dem Einflusse des Lampen-Regulirwerks nicht sofort auseinander, so nehmen die Elektromagnete in der dynamo-elektrischen Maschine in wenigen Secunden den höchsten Grad des Magnetismus an, der dann wieder auf die Ströme des Inductors verstärkend einwirkt und ein magnetisches Feld zwischen den Polen der Elektromagnete von solcher Intensität erzeugt, dass es von Seiten des Motors des höchsten Kraftaufwandes bedarf, um die Inductorrolle durch dieses dichte magnetische Feld hindurchzutreiben. Die Folge hiervon ist bei schwächeren Motoren, dass sie sehr bald zum Stillstande kommen, und bei grösseren, welche überschüssige Kraft haben, dass sie langsamer gehen.

Aber auch wenn die Kohlenspitzen nach ihrer ersten Berührung sofort auseinandergehen, wie dies bei einer guten Lampe der Fall ist, treten grosse Veränderungen in dem Widerstande des Lichtbogens und also in der Stromstärke ein, welche sich sofort auf die Elektromagnete der Lichtmaschine übertragen und ihren Gang beeinflussen; das Abbrennen der Kohlen macht den Lichtbogen länger und den Widerstand grösser, die Annäherung derselben verkürzt den Bogen und macht den Widerstand kleiner, und so hat das fortwährende Reguliren des Bogens in der Lampe grossen Einfluss auf die Stromstärke in der Maschine und auf die stromerregende Kraft der Elektromagnete. Die Folge hiervon ist aber eine stets sich verändernde Inten-

Digitized by Google

sität des Lichtes selbst, ein Flackern des Lichtes, welches für das Auge oft unangenehm ist.

Mit Recht konnte also *W. Siemens* der Society of Telegraph Engineers berichten, dass bei den dynamo-elektrischen Maschinen die Intensität des magnetischen Feldes, in welchem die Armatur rotirt, sehr variire und dass die Thätigkeit solcher Lampen, die nicht sehr regelmässig functioniren, in der ungünstigsten Weise auf die Maschine zurückwirke, indem sie das magnetische Feld schwäche, wenn der Widerstand am grössten und der Strom am nöthigsten sei, die stärksten Ströme hingegen erzeuge, wenn der kleinste Widerstand zu überwinden sei.

Doch abgesehen davon, dass sehr empfindliche Lampen häufig zu complicirt und daher für die rohe Praxis wenig geeignet sind, ist es auch nicht die Lampe allein, welche Widerstandsveränderungen bewirkt, vielmehr ist an mehreren Stellen des Stromkreises die Möglichkeit zufälliger Widerstände gegeben. Hierhin gehören vornehmlich die Uebergangswiderstände am Stromsammler und an den Bürsten; so ruft jede Beschmutzung des Stromsammlers mit Oel Uebergangswiderstände hervor, welche der Natur der Sache nach variabel sind. Auch kann die Beschmutzung der Stifte, auf welchen die Bürstenhalter drehbar aufgesteckt sind, beträchtliche Uebergangswiderstände zur Folge haben, welche die Stromentwicklung fast ganz stören können. Wohl kann reinliche Instandhaltung einer Maschine die gerügten Mängel fernhalten; die Annahme aber, dass noch andere variable Widerstände möglich sind, die nicht ohne Weiteres zu erkennen und zu beseitigen sind, führte zu einigen Veränderungen an der Einrichtung des Stromkreises.

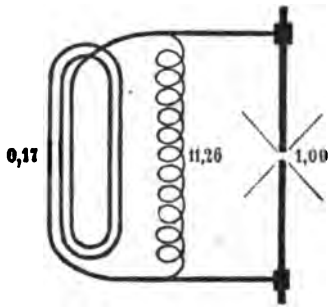
Es fand sich nämlich, dass die starke Empfindlichkeit der Maschine gegen Schwankungen des äussern Widerstandes durch Einschaltung eines constanten Widerstandes erheblich gemindert werden kann. Derselbe kann in einer

Digitized by Google

Vermehrung der Drahtwindungen auf Magnet und Anker der Maschine beruhen; besser ist es übrigens, den Widerstand durch mehrere elektrische Lampen zu ersetzen, wonach also bei getheiltem elektrischen Lichte die Widerstands-Variationen einer einzelnen Lampe gegen den Totalwiderstand zurücktreten.

Eine andere Methode zur Verminderung der Stromschwankungen besteht in der in den §§. 86 und 87 auseinandergesetzten Methoden der Schaltung zur Erzielung eines Stromes von nahezu constanter Spannung oder nahezu constanter Stromstärke, und in dieser Beziehung haben namentlich die Arbeiten von *Marcel Deprez* so schöne Resultate geliefert.

Fig. 378.



Die Siemens'sche Schaltung.

Wenn es sich nur um kleine Installationen, etwa mit einer einzigen Lampe, handelt, so führt die Methode von *Wheatstone* zum Ziele, welche darin besteht, dass die Elektromagnete in einer Zweigleitung des Inductors liegen und einen weit grössern Widerstand (10,729 Ohm) erhalten. Fig. 378 gibt das Schema einer *Siemens*-Maschine, deren Pole mit einer elektrischen Lampe verbunden sind; die ebene Spirale stellt den Inductor, die cylindrische die Elektromagnete dar. Wird hiernach der Widerstand des äussern

Digitized by Google

Stromkreises, z. B. durch Berühren der Kohlenstäbe, gleich 0, so wird der Elektromagnet fast ganz stromlos, so dass die Isolation der Maschine nicht gefährdet ist.

Am vortheilhaftesten ist jedoch immerhin, dass zur Erzeugung des elektrischen Lichtes namentlich bei mehreren Lampen eines und desselben Stromkreises magnet-elektrische Maschinen, die dynamo-elektrischen Maschinen aber nur zur Magnetisirung der Elektromagnete der Lichtmaschine verwendet werden.

150. Motoren und Bürsten. Aus dem Gesagten ergibt sich bereits, dass die elektrischen, insbesondere die dynamo-elektrischen Maschinen in sehr gleichmässiger Weise betrieben werden müssen. Zum Betriebe einer kräftigen Lichtmaschine ist stets eine Dampfmaschine oder ein anderer Motor erforderlich.

Denken wir an die *Siemens-Halske*'sche Maschine (Figur 132, Seite 242); so lange die Leitung offen ist und die Klemmen nicht metallisch verbunden sind, ist zur Drehung der Trommel nur so viel Kraftaufwand nöthig, als zur Ueberwindung der Reibung in den Zapfenlagern F_1 F_2 erforderlich ist. Wird dagegen die Leitung geschlossen, etwa dadurch, dass eine elektrische Lampe in den äussern Stromkreis eingeschaltet wird, so treten bei der anfänglichen Drehung der Trommel, wenn nur eine Spur von Magnetismus in den Armaturen N N_1 und S S_1 vorhanden ist, sofort die Inductionsströme in der Trommel auf, die, weil sie die Elektromagnete kräftigen, verstärkend auf die Armaturen einwirken und dadurch selbst verstärkt werden. Es nimmt so die von der Maschine gelieferte Elektricitätsmenge, zugleich aber auch die von ihr verbrauchte mechanische Arbeit sehr rasch zu, da jeder Zuwachs an Magnetismus eine entsprechende Verstärkung der Strom-Intensität nach sich zieht. Aus diesem Grunde ist zur Erzeugung eines ruhigen elektrischen Lichtes ein

Digitized by Google

Motor von gleichmässigem Gang durchaus nöthig und eben desshalb müssen alle für den Betrieb von dynamo-elektrischen Lichtmaschinen angewendete Motoren zur Erzielung eines möglichst gleichförmigen Ganges mit zuverlässig functionirenden Regulatoren ausgerüstet werden.

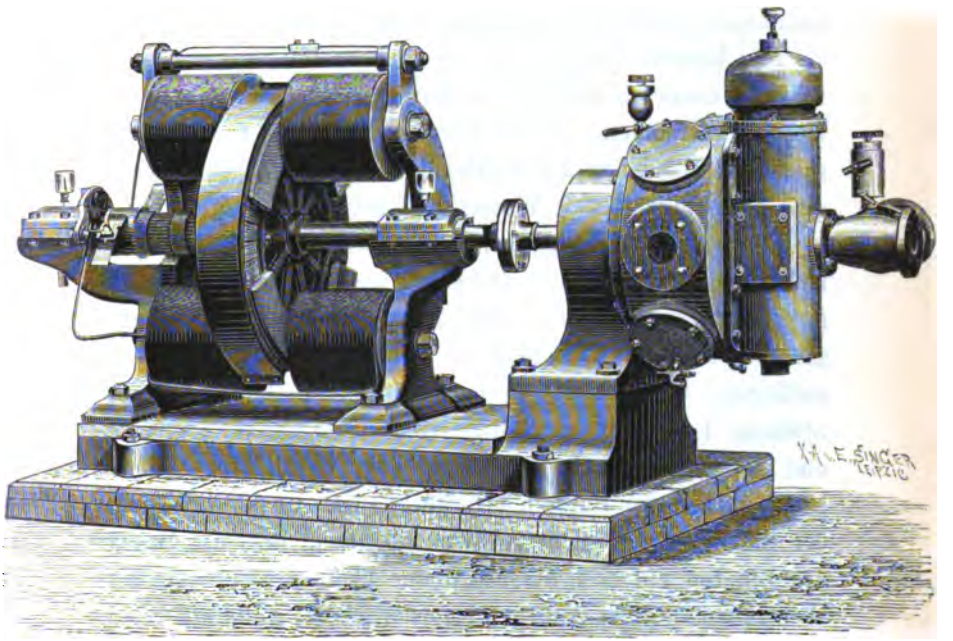
Dazu kann in Werken, wo schon aus anderen Gründen eine constante Tourenzahl von höchster Wichtigkeit ist, der bereits vorhandene Motor recht gut gebraucht werden. Bedingen aber verschiedene und unregelmässige Arbeiten eine ungleichmässige Geschwindigkeit des Motors, so kann derselbe zum Betreiben der Lichtmaschine nicht dienen, da letztere alsdann nur ungleichmässiges und daher unschönes Licht erzeugen würde. In diesem Falle muss vielmehr ein besonderer Motor, welcher solide construirt, mit leicht zugänglichen Selbstölern und einem guten Regulator versehen ist, genommen werden. Von vielen Fabricanten[1]) werden speciell zum Betriebe von Lichtmaschinen geeignete Dampfmaschinen gebaut. In Fig. 379 zeigen wir die Verbindung einer dynamo-elektrischen Maschine von *Schuckert* mit dem speciell zum Betrieb dieser Maschine construirten rotirenden Viercylinder-Dampfmotor, System *Abraham*, mit Ausschluss von Rollen und Riemen, wodurch eine grosse Betriebssicherheit erreicht und Kraftverlust durch die Trans-

1) Zu beachten sind u. A.: Die rotirende Dampfmaschine, System *Dolgorouki,* von *Siemens* und *Halske,* (siehe *Glaser's* Annalen, 1880, p. 505 und 1881, p. 493); die fahrbare zweicylindrige Dampfmaschine von *A. Borsig* in Berlin; diverse Dampfmaschinen von *Ransomes, Head & Jefferies* (vgl. The Electrician, Vol. VII, Nr. 13), *Robey & Comp.* (vgl. The Electrician, Vol. VII, Nr. 14), *Nayer & Comp., Carrels frères de Gand, Weyher & Richemond, Brotherood, Warral-Elwel & Middleton, Marshall, Sons & Comp., Hermann-Lachapelle* u. s. w. (Vgl. La force motrice à l'exposition de Paris: L'ingénieur 1881, p. 178, 198, 267, 291, 321 u. s. w.); *Otto's* neuer Motor, Gasmotoren-Fabrik Deutz (siehe u. A. Special-Katalog der i. A. f. E. für Deutschland, p. 11), die Gasmaschine von *Thomson, Sterne & Comp.*

Digitized by Google

mission vermieden wird. Diese Motoren haben sich im Betrieb ausserordentlich bewährt und wir geben in folgender

Fig. 379.



Viercylinder-Dampfmaschine, System Abraham, zum Betrieb der Schuckert-Maschine.

Tabelle eine Zusammenstellung der verschiedenen Grössen mit den wichtigsten Dimensionen desselben:

Nr.	Touren-Anzahl.	Kraftleistung in effect. Pferdekr. Ueberdruck.				Gewicht.
		6 Atmosph.	5 Atmosph.	4 Atmosph.	3 Atmosph.	Kilo.
I.	960	4,1	3,4	2,7	2,0	100
II.	800	6,6	5,5	4,4	3,3	170
III.	700	10,8	9,0	7,2	5,4	250
IV.	630	16,8	14,0	11,2	8,4	350
V.	550	25,0	21,0	17,0	12,5	450

Digitized by Google

Wir verweisen in dieser Beziehung noch auf die in §. 61, Seite 272a erwähnte grosse Dynamo-Maschine von *Edison*, die ebenfalls mit der treibenden Dampfmaschine zusammengebaut und ohne Riemscheiben u. s. w. bewegt wird.

Für kleinere Anlagen sind in neuerer Zeit besonders die vervollkommneten Gasmotoren der Gasmotoren-Fabrik Deutz vielfach verwendet. Ferner können Turbinen und Wasserräder verschiedener Art vortheilhaft benutzt werden, wenn eine ausgiebige stetige Wasserkraft zur Verfügung steht.

Besondere Beachtung verdienen auch stets die Bürsten, nicht nur bezüglich ihrer Reinheit, sondern auch bezüglich ihrer Stellung. Dieselben müssen nämlich stets zum Stromsammler in einer schrägen Lage stehen und an einer Stelle aufliegen, wo sich die wenigsten Funken bilden. Diese Stellung ist durch sorgfältige Untersuchung zu ermitteln und zu sichern, sowie keineswegs eher zu ändern, bis ein Nachschieben der Bürsten erforderlich ist. Damit diese und der Stromsammler nicht zu rasch abnutzen, darf der Druck der Bürsten auf den Stromsammler nicht grösser sein als eben zum dauernden Anliegen erforderlich ist; sollte ein Oelen des Stromsammlers (Collectors) die Abnutzung schwächen, so dürfte dieser Vortheil wegen des durchs Oelen bedingten variabelen Widerstandes kaum in Betracht zu ziehen sein.

Vor allem wichtig ist die Wahl der Isolirmasse. Um eine gleichmässige Abnutzung zu erzielen, muss die Isolirmasse ungefähr dieselbe Festigkeit haben, wie die metallischen Strahlstücke. Ist dies nicht der Fall, so bilden sich Rillen, zwischen denen dann die Funken überspringen und den Collector rasch zerstören.

Gesetzt nun, dass alle zur Erzeugung eines guten elektrischen Lichtes dienenden Mittel, also der Motor, die Lichtmaschine, die Lampe und Kabel in vorzüglichstem Zustande sind, so können immerhin Fälle eintreten, welche recht störend wirken und daher auf jeden Fall beseitigt

Digitized by Google

werden müssen. So kann es vorkommen, dass durch irgend eine äussere Veranlassung, z. B. durch Unreinheit der Kohlen, der Lichtbogen plötzlich verlöscht und der Strom unterbrochen wird. In einem solchen Falle sinkt der Kraftverbrauch der Maschine plötzlich fast auf Null herab, und eine bedeutende, ja, gefährliche Erhöhung der Umlaufsgeschwindigkeit des Inductors würde die Folge hiervon sein, wenn die Betriebsmaschine fortfahren würde, mit gleicher Kraft zu arbeiten, ohne dass ihr ein entsprechender Widerstand dargeboten würde.

Ebenso kann im andern Falle, wenn aus irgend einem Grunde der Regulirungs-Mechanismus nicht wirkt und die Kohlen in der Lampe den Lichtbogen nicht bilden, sondern in Berührung bleiben, die Stromstärke zu gross werden; es können dann die Leitungsdrähte bis zur Glühhitze erwärmt und dadurch feuergefährlich werden. Ausserdem kann durch Schmelzen derselben die ganze Anlage zerstört werden.

Es gehören daher zu jedem Beleuchtungssystem ausser den Lampen und Maschinen auch noch Sicherheits-Apparate, welche in den erwähnten Eventualitäten in Function treten und die Anlage vor Zerstörung sichern sollen. Gute Sicherheits-Apparate sind ebenso nothwendig zum richtigen Betriebe einer elektrischen Beleuchtungs-Anlage als gute Maschinen und gute Lampen und sind ebenso unentbehrlich wie die Manometer und Sicherheitsventile bei den Dampfmaschinen u. s. w.

151. Die Regulirung des elektrischen Stromes. Zum sichern Betrieb einer Anlage ist in erster Linie nöthig, in jedem Momente zu wissen, wie viel Strom von der Maschine geliefert wird und in der Leitung fliesst. Es ist daher bei jeder Maschine ein *Ampère*-Meter und ein *Volt*-Meter aufgestellt. Das *Ampère*-Meter wird direct in die Hauptleitung oder eine passend abgeglichene Nebenleitung aufgestellt und functionirt

Digitized by Google

fortwährend. Das *Volt*-Meter befindet sich in einem Nebenschluss zur Maschine, der mit einer Contactfeder geschlossen werden kann. Durch Niederdrücken der Contactfeder kann in jedem beliebigen Zeitmomente die Spannung der Maschine gemessen werden. Auf Seite 72 und ff. haben wir verschiedene Formen solcher Apparate beschrieben. Im Folgenden beschreiben wir eine Anzahl Apparate, welche speciell zur Messung und Regulirung des elektrischen Stromes bei Beleuchtungs-Anlagen und zu seiner Regulirung construirt worden sind. Unter der grossen Menge solcher Apparate heben wir nur diejenigen hervor, welche in Folge ihrer zweckmässigen und sorgfältigen Combination allgemeine Anerkennung und ausgedehnte Verbreitung gefunden haben.

Fig. 380.

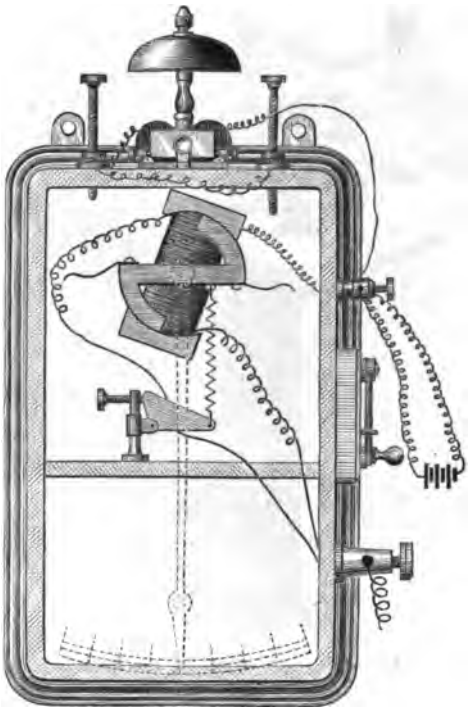
Ampère-Meter von Weston.

Fig. 380 u. 381 zeigt das *Ampère*-Meter von *Weston*. Der Magnet ist *Z*-förmig gebildet und auch die Pole des vom Strome durchflossenen Elektromagnets sind eigenthümlich geformt und zwar so, dass die Ablenkungen der mit dem Magnet verbundenen Nadel oder eines Zeigers immer proportional der jeweiligen Stromstärke sind. Der Magnet wird in Schwebe gehalten einerseits

Digitized by Google

durch die Anziehung des Elektromagnets, andererseits durch eine Spiralfeder, deren Spannung mit einer Schraube regulirbar ist. Es lässt sich dadurch auch die Empfindlichkeit des Apparates verändern. Bei normaler Stromstärke steht der Zeiger auf Null, bei Aenderung der Stromstärke erhält entweder die Feder oder der Elektromagnet das

Fig. 381.



Ampère-Meter von Weston. (Querschnitt.)

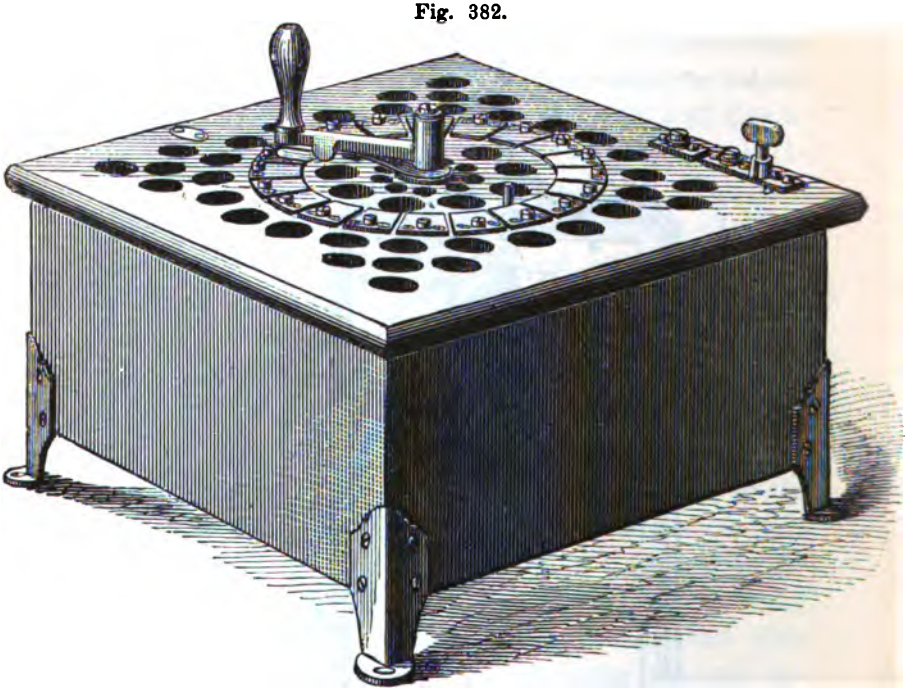
Uebergewicht und der Zeiger weicht aus seiner Mittellage ab. Wenn die Stromschwankungen zu stark werden, so schliesst eine der Contactfedern, welche an bewegliche Magnete angebracht sind, durch Berührung mit einer am obern Kastendeckel angebrachten Contactschraube eine Lo-

Digitized by Google

calbatterie, welche die Weckerglocke in Thätigkeit setzt und den Maschinisten aufmerksam macht.

Wenn der Strom nicht die richtige Stärke hat, so müssen wir einfache Mittel in der Hand haben, die richtige Stromstärke herbeizuführen oder den Strom zu reguliren. Hierzu stehen uns verschiedene Wege offen. Am einfachsten

Fig. 382.



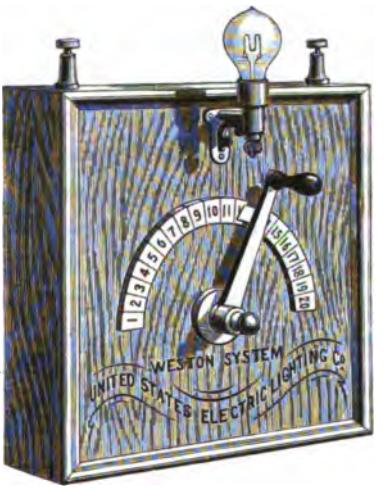
Regulator von Edison.

wird die Stärke des Stromes regulirt durch Ein- und Ausschaltung von elektrischen Widerständen. Diese Methode ist besonders gut bei den Maschinen, welche die Elektromagnete in einer Nebenleitung oder einer separirten Leitung haben. Es wird dann der künstliche Widerstand in die Leitung mit den Elektromagneten eingeschaltet, hierdurch der Strom um die Elektromagnete kleiner, und das magnetische

Digitized by Google

Feld der Maschine geschwächt; diese braucht nun im gleichen Verhältniss weniger Kraft, als sie weniger Strom zu liefern hat. Muss der Widerstand in die Hauptleitung eingeschaltet werden, so ist diese Regulirung mit Kraftverlust verbunden, da die Maschine gleich viel Kraft braucht, ob der gelieferte Strom dazu verwendet wird, unnöthige Regulirungswiderstände zu erwärmen oder den Lichtbogen der Lampen zu unterhalten. Als Widerstände werden gewöhnlich Drahtspiralen verwendet, welche aus dicken Kupfer-, Eisen- oder

Fig. 383.



Regulator von Weston.

Neusilberdrähten gebildet werden. Natürlich muss man die Dimensionen der Drähte so wählen, dass keine Erhitzung desselben durch den circulirenden Strom eintreten kann. Fig. 382 zeigt den Widerstandskasten von *Edison* und Fig. 383 denjenigen von *Weston*. Die innere Einrichtung dieser Apparate wird ohne Weiteres aus der Abbildung und nach Vorstehendem verständlich sein.

Zuweilen verwendet man auch Kohlen als Widerstände und zwar in zweifacher Weise. Entweder schaltet man eine

Digitized by Google

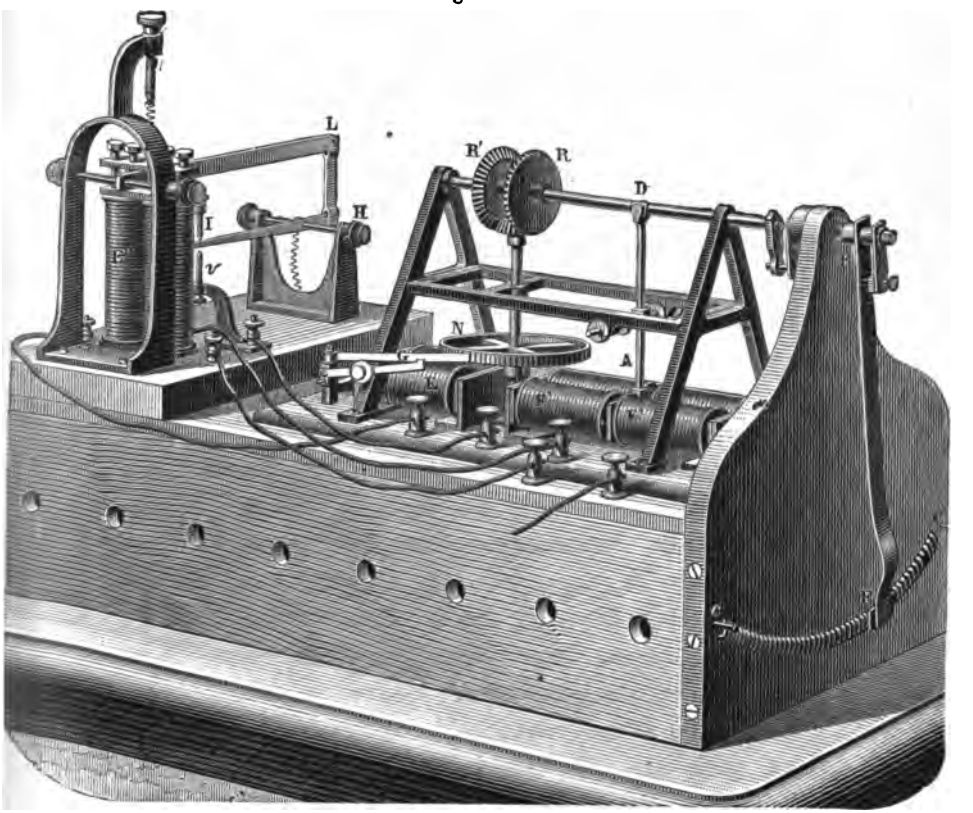
grössere oder kleinere Länge von Kohlenstäben in die Leitung ein oder man verwendet eine Schicht Kohlenpulver und variirt den Widerstand dadurch, dass man dasselbe mehr oder weniger stark zusammenpresst. Das Ein- und Ausschalten von Widerständen wird gewöhnlich durch eine Kurbel oder eine Stöpselung von Hand besorgt, wie die Widerstandskasten von *Edison* und *Weston* sehen lassen. *Lane-Fox* hat einen Apparat construirt, der dieses Ein- und Ausschalten automatisch besorgt.

152. Der Regulator von Lane-Fox. Der Apparat, welchen *Lane-Fox* benutzt, um die Stromstärke constant zu halten, beruht darauf, in die Hauptleitung automatisch mehr oder weniger Widerstände einzuschalten und ist ziemlich complicirt. Den wichtigsten Theil bildet der Elektromagnet E (Fig. 384), welcher eine Armatur mit automatischem Unterbrecher besitzt, ähnlich wie der *Neeff*'sche Hammer-Apparat. Mit dieser Armatur bewegt sich eine Feder G, welche in das Zahnrad N eingreift und dasselbe, wenn der Hammer arbeitet, beständig um einen Zahn vorschiebt. Die Achse dieses Zahnrades trägt an ihrem obern Ende ein anderes konisches Rad, welches zwischen den beiden Rädern R und R^1 liegt. Diese beiden letzteren sitzen auf einer gemeinsamen Achse, welche an ihrem äussern Ende einen Hebel F trägt. Auf dem Kreisbogen $c\,c$ sind die Enden von Widerständen angeordnet, auf welchen das Ende des Hebels federt und von welchen er bei seiner Bewegung mehr oder weniger in die Leitung einschaltet. Die Achse der Räder R R^1 kann sich unter dem Einflusse des Ankers A verschieben. Der letztere liegt zwischen den beiden Elektromagneten E', der Elektromagnet E'' liegt in einer Nebenleitung zum Hauptkreise. Seine Armatur, durch eine Spiralfeder regulirt, wirkt auf den Hebel L I, der sich zwischen den Contactspitzen I und i bewegen kann; je nachdem er mit der einen oder mit der anderen Contact macht, wird der rechts oder links von der Armatur A

Digitized by Google

liegende Elektromagnet E' mit einer Localbatterie verbunden. Die Armatur wird nach dieser Seite hingezogen und bewegt gleichzeitig die Achse mit den Rädern R und R' auf eine solche Weise, dass bald das eine, bald das andere mit dem Getriebe des Kronrades in Verbindung kommt und durch

Fig. 384.



Regulator von Lane-Fox.

die Wirkung des *Neeff*'schen Hammers die Achse mit dem Hebel F so dreht, bis genügend Widerstand ein- oder ausgeschaltet ist, um die normale Stromstärke herzustellen und das Relais E'' ausser Betrieb zu setzen. Diese Vorrichtung

Digitized by Google

ist sehr vollständig und ziemlich zuverlässig, aber sie arbeitet sehr langsam, welcher Nachtheil genügt, um eine allgemeine Verwendung dieses Apparates zu verhindern.

153. Maschinen-Installation und Strom-Regulirung von Edison. Nachdem wir die Construction der verschiedenen *Edison*'schen Dynamo-Maschinen in §. 61 im Einzelnen näher beschrieben haben, erübrigt uns noch, die Art ihrer Verbindung mit den Leitungsdrähten und die zur Regulirung des Lichtes erforderlichen Hülfsapparate näher zu erörtern.

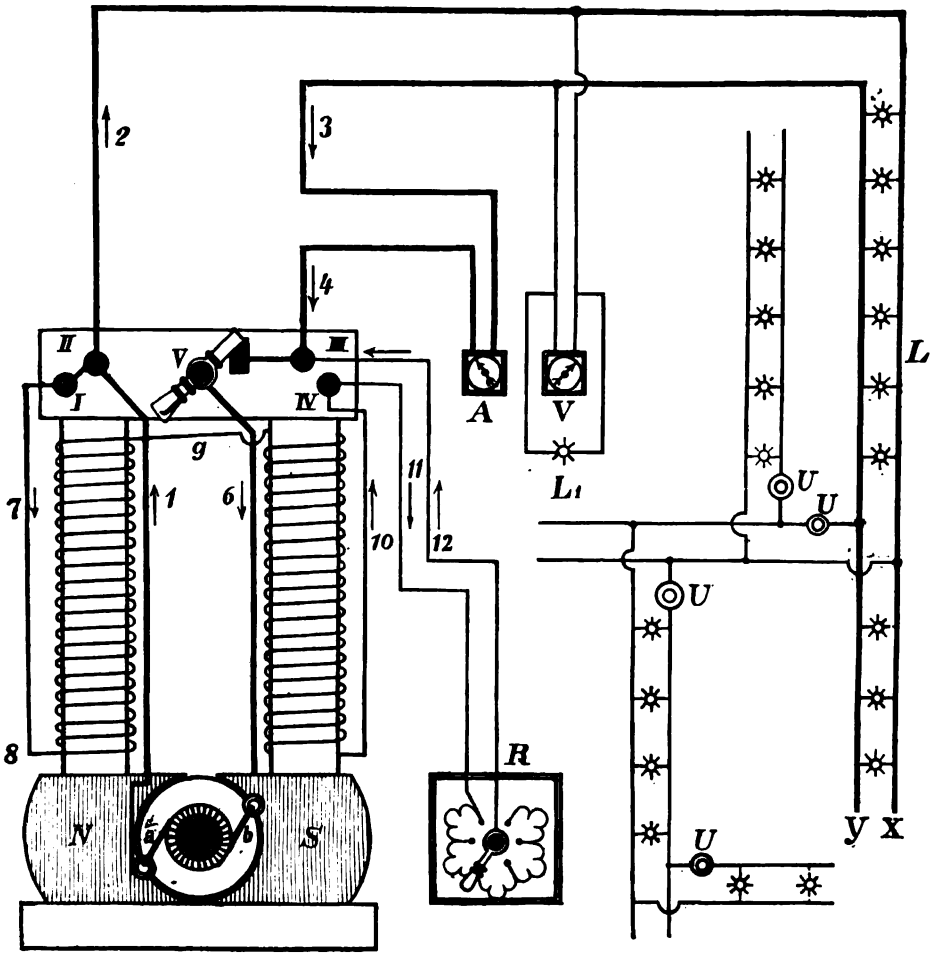
Die Fig. 385 zeigt eine solche Installation für eine einzelne Station. Auf einem Brette am Kopfe des Elektromagnets befinden sich mehrere Klemmschrauben, wie die Figur dieses näher darstellt. Der Schliessungskreis ist zweitheilig; der eine Theil, der Anker, dreht sich in dem zwischen den Magnetpolen N, S erzeugten magnetischen Felde und bildet den Hauptstrom, der, von den Bürsten a, b abgeleitet, die in der Figur dick gezeichnete Hauptleitung $X\ Y$ mit den in derselben befindlichen Glühlicht-Lampen durchfliesst; dieselbe gibt mittelst Zweigleitung partielle Strommengen zum Zwecke der Magnetisirung an die Magnetschenkel ab. Das ganze System der Schaltung besteht hiernach aus der Hauptleitung $X\ Y$, in welcher die Lampen durch kleine Sternchen eingezeichnet sind und daran anschliessend Abzweigungen, welche durch die Ausschalter U an- resp. ausgeschlossen werden können, sodann noch aus der Zweigleitung (dem Nebenschlusse), welche von der Hauptleitung abgezweigt ist, und in welcher die Schenkel des Elektromagnets liegen.

Die genannten Klemmschrauben am Kopfe des Magnets sind mit I, II, III und IV bezeichnet. I und IV bilden die Enden der Wicklung auf dem Elektromagnet, II und V stehen in Verbindung mit den Bürsten a und b und bilden somit die Enden der Wicklung der Armatur.

Digitized by Google

Zwischen III und IV wird ein Widerstandskasten *R* (Rheostat, Fig. 382) eingeschaltet. Ausserdem functionirt auf

Fig. 385.



Maschinen-Installation und Strom-Regulirung von Edison.

dem Brette noch ein Umschalter V, der in verticaler Stellung die Maschine ausschaltet und den Strom unterbricht,

Digitized by Google

in seiner Hauptstellung aber wie in der Figur den Hauptstrom in die Leitung *X Y* zu den Lampen führt. Dieser Hauptstrom hat folgende Richtung: Von der Bürste *a*, in der Richtung des Pfeiles 1 zur Klemme II, über Pfeil 2 zur Hauptleitung *X*, durch die Lampen zur Leitung *Y*, über Pfeil 3 zum *Ampère*-Meter *A*, Pfeil 4 zur Klemme III, Umschalter V und Pfeil 6 zur Bürste *b* der Maschine zurück.

Der Hauptstrom 1 zweigt sich bei der Klemme II nach I ab und der Zweigstrom tritt bei 8 in den einen Magnetschenkel ein, durchläuft die beiden Magnetschenkel, den beigesetzten Pfeilen folgend, in der Richtung 8, 9, 10, Klemme IV durch 11, zum Widerstandskasten (Rheostat), durch 12 zur Klemme III, Umschalter V, 6 zur Bürste *b* zurück.

Zwischen der Hauptleitung ist ein *Ampère*-Meter *A*, ausserdem noch ein *Volt*-Meter *V* und eine Prüfungslampe L_1 eingeschaltet. Die erste von *a* ausgehende und bei *b* endigende Stromabtheilung bildet somit den Hauptstrom und das Licht der Lampen, die zweite Stromabtheilung zwischen der Klemme I und der Klemme III schliesst den Widerstandskasten *R* in sich und bildet den Nebenschluss und zwischen den Magnetschenkeln *N S* das magnetische Feld der Maschine.

Würde nun aus irgend einer Ursache die Stromstärke in der Hauptleitung und damit in den Lampen das Licht zunehmen, was sich sofort am *Ampère*-Meter *A* anzeigen würde, so schaltet der Aufseher durch den Rheostat *R* Widerstand ein; der ganze Widerstand in dem Nebenschlusse der Magnetschenkel wird dann grösser, der Strom in diesen Schenkeln wird kleiner und das magnetische Feld *N S* der Maschine ebenfalls kleiner, als es vorher war; der Strom der Hauptleitung und der Lampen sinkt herab, und so kann jedesmal durch eine einfache geeignete Handhabung

Digitized by Google

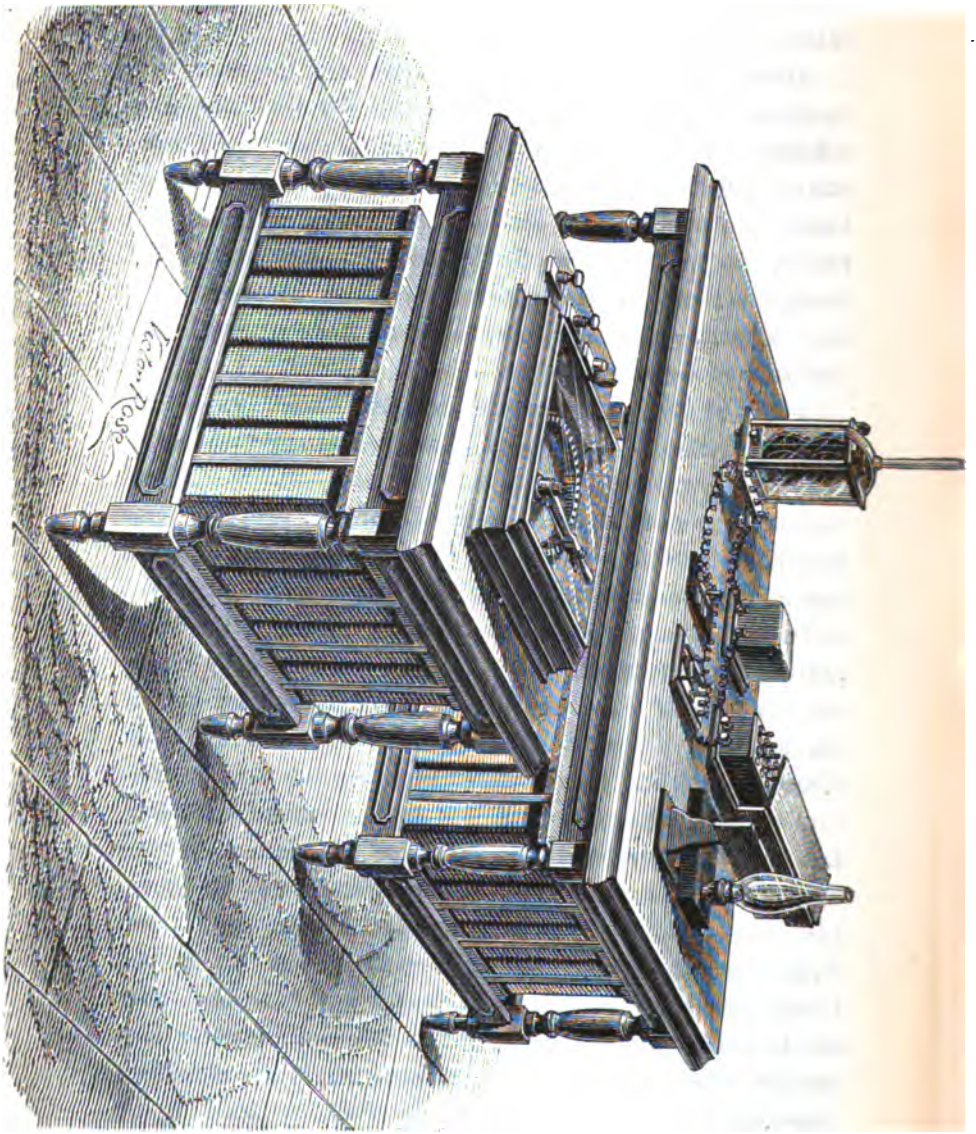
des Rheostaten auf die vorgängige Anzeige des *Ampère*-Meters hin der Strom und das Licht der Lampen in gleicher Stärke erhalten werden.

Durch den Regulator *R* wird also die Intensität des magnetischen Feldes der Maschine mittelst Ein- und Ausschaltens von Widerständen so regulirt, dass die Stromstärke und damit die Intensität der Lampen constant erhalten bleibt oder nach Belieben zu- resp. abnimmt. Da hierbei nur ein kleiner Bruchtheil des ganzen Stromes durch die Elektromagnetschenkel fliesst, so absorbirt diese Regulirungsmethode nur einen unbedeutenden Theil der elektrischen Gesammtenergie.

Fig. 386 gibt eine Ansicht des Rheostaten, wie er für grössere Centralanlagen von *Edison* zusammengestellt wird. Auf einem grossen Tische befindet sich ein Spiegelgalvanometer von *Thomson*, dessen Empfindlichkeit auf eine passende Grösse regulirt wird, einerseits durch einen neben dem Galvanometer aufgestellten Widerstand von 50 000 *Ohm*, andererseits durch einen Stöpsel *Rheostaten*, der an den erstern angeschlossen ist. Auf demselben Tische sehen wir ferner die Scala mit der Petroleumflamme, welche zur Ablesung des Galvanometers dient, ferner einen Ausschalter, welcher die Leitung zum Galvanometer unterbrechen oder herstellen kann, und endlich einen Umschalter. Die Spannung des von der Maschine gelieferten Stromes wird mit der Spannung einer Batterie verglichen, die genau 110 *Volt* beträgt. Diese Normalbatterie ist unter dem Apparatentische aufgestellt und es kann nun durch den Umschalter abwechselnd die Leitung zur Maschine oder die Leitung zur Normalbatterie mit dem Galvanometer verbunden werden, um zu untersuchen, ob beide denselben Ausschlag geben. Ist das nicht der Fall, so wird in die Leitung der Elektromagnete mehr oder weniger Widerstand vermittelst des Regulators, welcher neben dem Apparatentische aufgestellt ist, eingeschaltet.

Digitized by Google

Fig. 386.



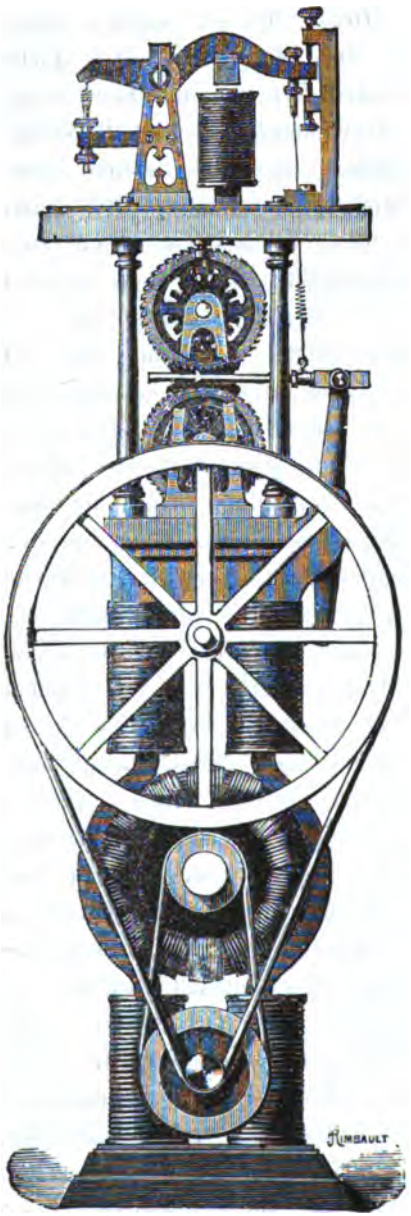
Edison's Stations-Regulator mit den Hülfs-Apparaten.

Digitized by Google

154. Die automatische Strom-Regulirung von Hiram Maxim. Wesentlich anders verfährt *Hiram Maxim*, welcher zeigte, wie in den Fällen, dass das Magnetfeld der Lichtmaschine durch eine besondere Dynamo-Maschine erregt wird, die elektromotorische Kraft abgeändert und die Stromstärke der zu leistenden Arbeit angepasst werden kann. Es ist klar, dass die Lichtmaschine einen starken bezw. schwachen Strom erzeugen wird, je nachdem unter sonst gleichen Umständen ihre Magnetfelder stark bezw. schwach erregt werden. Der Grad der Erregung hängt aber von der Stromstärke der Hülfsmaschine ab; damit nun von dieser verschieden starke Ströme abgeleitet werden, sind ihre Collector-Bürsten an einem Träger befestigt, mit welchem die Bürsten sich concentrisch zu dem Collector-Cylinder bewegen können. In der einen Grenzlage liefern die Bürsten gar keinen Strom, in der anderen einen Strom grösster Stärke und in den Zwischenlagen einen Strom, dessen Stärke zwischen den erwähnten Grenzen liegt. Diese Stärke beeinflusst also diejenige des Stromes der Lichtmaschine. Dieser aber wirkt auf den Stromregulator (Fig. 387), indem er durch den Elektromagnet desselben fliesst und diesen bald stark, bald schwach erregt; dem entsprechend senkt oder hebt der Elektromagnet mittelst seines zwischen zwei Stellschrauben auf- und niedergehenden Ankerhebels eine Schiebklaue und bringt diese zum Eingriff mit dem untern bezw. dem obern von zwei Schiebrädern. Die Schiebklaue wird von einer oscillirenden Stange hin- und herbewegt, welche von einer kleinen Kurbel geführt wird, die selbst durch die Achse des Erregers eine verhältnissmässig langsam rotirende Bewegung erhält. Greift also die Schiebklaue in ein Schiebrad ein, so überträgt dieses bei der erfolgenden schrittweisen Drehung ihre Bewegung (Fig. 152) auf eine horizontale Achse, von welcher sie durch ein Paar Kegelräder auf den Bürstenträger der

Digitized by Google

Fig. 387.



Automatische Stromregulirung von Hiram Maxim. (Vgl. Fig. 152.)

erregenden Maschine fortgepflanzt wird. Letzterer wird demnach in der einen oder anderen Richtung gedreht, wenn der lichtgebende Strom zu stark oder zu schwach, der Anker des Elektromagnets am Regulator mehr oder weniger abwärts gezogen und demnach das untere oder das obere Schiebrad gedreht wird; damit wird auch zunächst der erregende und weiter auch der lichterzeugende Strom geschwächt oder gestärkt. *Maxim* wandte den Regulator bei den von ihm erdachten Glühlampen an; 64 derselben wurden in denselben Stromkreis eingeschaltet und nach und nach bis auf eine ausgeschaltet; der Regulator glich die Stromstärke-Aenderung vollkommen aus, so dass das Glühlicht einer Lampe stets dieselbe Lichtstärke hatte.

Alle diese Vorrich-

Digitized by Google

tungen haben an Bedeutung verloren, seit man das magnetische Feld einer Maschine automatisch ohne mechanische Einrichtungen durch die Art der Wicklung constant halten kann. (S. Seite 374.)

Ist man in der Lage, einen sehr starken Strom gebrauchen zu müssen, während nur kleinere Maschinen für schwache Ströme zur Disposition stehen, so kann man mehrere Maschinen miteinander verkuppeln.

155. Die Verbindung der Maschinen kann verschieden erfolgen. Dieselben können hinter- und nebeneinander zu einem gemeinschaftlichen Stromkreise verbunden werden; man wird die eine oder andere Art der Schaltung wählen, je nachdem man Intensitäts- oder Quantitäts-Ströme zu schaffen beabsichtigt. Verbindet man die Maschinen auf Spannung, so treten absolut keine Schwierigkeiten auf; anders aber, wenn Maschinen auf Quantität verbunden werden, wo störende Einflüsse auftreten. Sobald die Maschinen nämlich ungleiche elektromotorische Kraft haben, kann der Strom der stärkeren Maschine theilweise in die andere Maschine übergehen, so dass nicht nur keine Verstärkung des Stromes, sondern sogar eine Schwächung des einen, des stärkeren Stromes eintritt. Bei magnet-elektrischen Maschinen verbleibt es bei diesem Nachtheile; viel erheblicher ist aber der störende Einfluss bei dynamo-elektrischen Maschinen, da bei diesen durch die Schwächung des einen Theilstromes auch die Elektromagnete schwächer erregt werden und dadurch die Einzelströme selbst schwächer ausfallen als dann, wenn die Maschinen nicht verbunden sind.

Burstyn hat diesen Fall mit *Gramme*'schen Maschinen genauer untersucht und gelangte zu folgenden Resultaten:[1])

„In Fig. 388 sind zwei Maschinen, I und II, neben einander geschaltet schematisch dargestellt. Darin stellen J_1 und J_2 die Inductoren

1) Vgl. Z. f. a. E. 1881, p. 339: Schaltung zweier dynamo-elektrischer Maschinen zu gemeinschaftlichem Stromkreise von *M. Burstyn*.

Digitized by Google

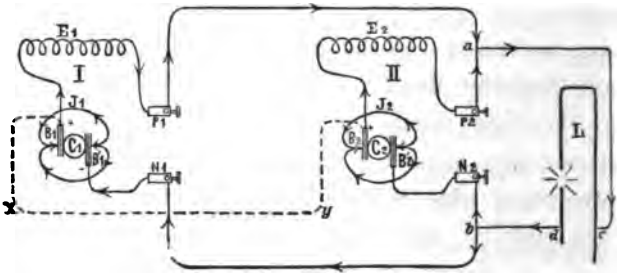
in einfachster Weise dar. C_1 und C_2 sind die Collectoren, B_1, B'_1 und B_2, B'_2 die Bürsten, P_1, N_1 und P_2, N_2 die positiven und negativen Polklemmen, E_1 und E_2 die gesammten Leitungen um die fixen Elektromagnete der betreffenden Maschine, während L die in den Stromkreis beider Maschinen eingeschaltete Lampe darstellt. Die auf den Leitungen gezeichneten Pfeile zeigen die Richtung des Stromes an. Bei a fliessen die Ströme beider Maschinen durch die Leitung $a\,c$ zur Lampe und finden über $d\,b$ ihren weiteren Schluss in den Maschinen. Der Stromweg ist durch folgendes Schema dargestellt:

$$\left.\begin{matrix} + B_1\ E_1\ P_1 \\ + B_2\ E_2\ P_2 \end{matrix}\right\rangle a\ c,\ \text{Lampe},\ d\ b \left\langle\begin{matrix} N_1\ B'_1\ - \\ N_2\ B'_2\ - \end{matrix}\right.$$

Es fliesst demnach durch die Lampe ein Strom, welcher der elektromotorischen Kraft einer Maschine und dem Widerstande entspricht, welcher in der Kabelleitung sammt Lampe und in den zu einer parallel geschalteten Leitung vereinigten Drahtwindungen beider Maschinen repräsentirt ist.

Sind die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen gleich gross, so wird immer, so gross auch der Widerstand in der

Fig. 388.



Die Schaltung zweier Maschinen auf Quantität.

Lampe werden mag, der Strom beider Maschinen ganz durch den gemeinschaftlichen Weg (die Lampe) fliessen, ohne dass bei a ein Theil desselben in der einen oder anderen Richtung (nämlich $P_1\ E_1\ B_1$ oder $P_2\ E_2\ B_2$) überträte und einen der beiden Elektromotoren in entgegengesetztem Sinne durchfliesse, als es die in ihm thätige elektromotorische Kraft fordert. Bei gänzlicher Unterbrechung der Leitung in L wird — gleich grosse elektromotorische Kräfte vorausgesetzt — der Schliessungskreis der Maschinen auch bei fortgesetztem Betriebe derselben stromlos sein.

Sind jedoch die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen nicht gleich gross, so wird, wenn der Widerstand in der Lampe über eine gewisse Grenze gewachsen ist, der Strom der

Digitized by Google

stärkeren Maschine bei *a* zum Theile in die schwächere Maschine übertreten und ihre Leitungen in entgegengesetztem Sinne durchfliessen. Vollends findet dies Statt, wenn die Leitung in *L* durch Erlöschen der Lampe unterbrochen wird, die Maschinen aber weiter betrieben werden. In diesem Falle wird diejenige Maschine, welche die geringere elektromotorische Kraft besitzt, von einem entgegengesetzt gerichteten Strome durchflossen werden, welcher der Differenz der elektromotorischen Kräfte und dem Widerstande im gesammten Stromkreise entspricht.

Ist dieser Differenzstrom halbwegs kräftig, so werden die Elektromagnete der betreffenden schwächeren Maschine umpolarisirt. Dadurch wird aber der nunmehr in ihr erzeugte Strom entgegengesetzt, d. h. so gerichtet werden, wie es der Strom der anderen Maschine ist, und durch die Leitungen wird jetzt ein Strom fliessen, welcher der Summe der elektromotorischen Kräfte beider Maschinen entspricht.

Die Maschinen sind jetzt eben hinter einander geschaltet, da die Pole der schwächeren Maschine umgekehrt wurden.

Werden die Maschinen weiter in Betrieb erhalten, so ist Gefahr für Erhitzung derselben vorhanden, denn sie erscheinen jetzt kurz geschlossen, und die Stromstärke in den eigenen Leitungen der Maschinen wächst zu enormer Grösse an.[1]) Die Lampe repräsentirt jetzt eine Zweigschaltung, und es wird durch dieselbe, wenn sie geschlossen wird, nur jener Theil des gesammten Stromes fliessen, welcher sich nach den Gesetzen der Stromtheilung aus dem Verhältnisse der Widerstände in den beiden Stromzweigen ergibt. In der Regel ist dieser Stromtheil sehr gering, und man wird ein schwaches oder gar kein Licht erhalten. Zur Erreichung der normalen Lichtstärke würde man die Kabel an der umpolarisirten Maschine im Sinne der geänderten Polarität verkehrt anlegen müssen."

Dass die eben angeführten Erscheinungen eintreten können, beweist *Burstyn* auf sehr exacte Weise, auf die nur hingewiesen werden kann.[2])

Da es kaum möglich ist, zwei Maschinen von vollkommen gleicher elektromotorischer Kraft zu bauen, so werden die hier angeführten Störungen immer in höherem oder geringerem Grade auftreten, so oft zwei Maschinen neben einander zu gemeinschaftlichem Stromkreise geschaltet werden, da die Ursachen, welche sie herbeiführen, nicht zu vermeiden sind.

---

1) Nach einer ungefähren Rechnung und mit Zugrundelegung mittlerer Zahlen für die Widerstände fliesst in diesem Falle durch die Drahtwindungen der Maschine ein Strom, der $^{15}/_{8}$ der Stärke jenes Stromes besitzt, welcher durch die Maschinen bei regelrechter Schaltung derselben fliesst.

2) Z. f. a. E. 1881, p. 344.

Digitized by Google

Gramme hat nun bei seinen Maschinen diesem Uebelstande in folgender, einfacher Weise abgeholfen. Bei allen Maschinen, welche für gemeinschaftliche Schaltung gebaut sind, sind die Leitungen um die fixen Elektromagnete sämmtlich von einer Bürste ausgeführt, während die zweite Bürste nur durch einen kurzen Draht mit der betreffenden Polklemme direct verbunden ist. Die erstere Bürste ist überdies auch mit einer Klemmschraube kurz verbunden. Sollen nun zwei Maschinen neben einander in einen Stromkreis geschaltet werden, so werden die Bürsten beider Maschinen, von welchen aus die Leitungen zu den Elektromagneten führen, durch einen Draht von geringem Widerstande mit einander verbunden, indem man ihn an die oben erwähnten Bürsten bezw. an die mit ihnen verbundenen Klemmschrauben anlegt. Die Disposition ist in Fig. 388 durch die punktirte Linie $x\ y$ angedeutet. Die Bürsten B_1 und B_2 der beiden Maschinen sind also einmal über die Elektromagnete und ein andermal durch die kurze Leitung mit einander verbunden.

Tritt nun die Bedingung ein, dass z. B. ein Strom von Maschine I nach II übergehen soll, so theilt er sich zwischen B_1 und B_2 im umgekehrten Verhältnisse der Widerstände in den Zweigleitungen E_1, E_2 und $x\ y$, und da der Widerstand von $x\ y$ verschwindend klein ist gegen den Widerstand der Magnetisirungsspiralen beider Maschinen, so wird durch letztere selbst im ungünstigsten Falle nur ein Strom von ganz minimaler Stärke fliessen, der ein Umpolarisiren der betreffenden Maschine nicht bewirken kann. Die Leitung $x\ y$ wird stromlos sein, wenn die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen gleich gross sind; sind dieselben verschieden gross und erreicht der Widerstand in der Lampe die früher definirte Grenze, so erfolgt der Ausgleich der entgegengesetzten elektrischen Drücke hauptsächlich durch diese kurze Leitung.

Digitized by Google

Man braucht also bei Kuppelung zweier *Gramme*'schen Maschinen nur dafür Sorge zu tragen, dass die entsprechenden Bürsten durch eine kurze Leitung mit einander verbunden werden, damit jeder störende Einfluss beseitigt werde.

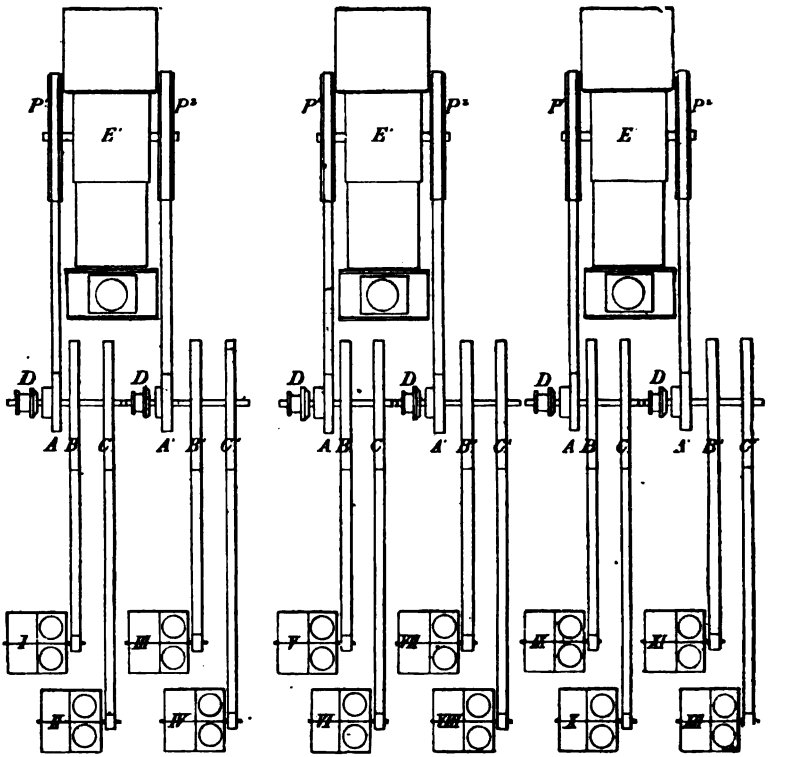
156. Die Kuppelung der Edison-Maschinen. Eine ausgedehnte Anwendung von der Kuppelung der Maschinen wird von *Edison* gemacht. Obgleich derselbe Maschinen von den verschiedensten Grössen baut, ist es doch oft wünschenswerth, durch Verbindung mehrerer Maschinen speciellen Bedürfnissen sich anpassen zu können. So werden in den grossen Centralstationen in New-York selbst die grössten Maschinen von 120 Pferdestärken zu mehreren zusammengekuppelt. Als Beispiel solcher Verbindung mehrerer Edison-Maschinen beschreiben wir die Installation, welche in der elektrischen Ausstellung im Krystallpalast zu Sydenham ausgeführt wurde. Diese Installation bestand aus 12 Edison-Maschinen, welche in zwei parallelen Reihen neben dem Haupteingang aufgestellt waren. Sie wurden von drei 25pferdigen Halblocomobil-Dampfmaschinen betrieben. Die Verbindung der letzteren mit den Dynamomaschinen ist aus den Figuren 389 u. 390 zu ersehen. I, II bis XII sind die Dynamomaschinen, E' die drei Dampfmaschinen. Jede derselben trägt zwei Triebräder P^1 P^2. Jedes dieser Räder treibt eine besondere Welle mit drei Rollen A, B, C. Die kleine Rolle A ist für den Riemen von der Dampfmaschine bestimmt; jede der anderen grossen Rollen B, C und B', C' ist mit je einer der Dynamomaschinen verbunden. Durch die konische Kuppelung D kann jeden Augenblick die betreffende Welle ein- oder ausgelöst werden. Die Dampfmaschinen von bester Construction gestatten, dem ganzen System eine völlig gleichmässige Geschwindigkeit zu ertheilen.

Ebenso interessant ist die Aufstellung und Regulirung der Maschinen. Die Armaturen sämmtlicher zwölf Dynamos sind parallel geschaltet zwischen die Hauptleitung X Y,

Digitized by Google

von wo aus in beliebiger Verzweigung X' Y', x y, x' y' der Strom zu den Lampen abgeführt wird. Die Regulirung geschieht nach demselben Princip, welches wir im §. 151 für die einzelnen Maschinen auseinandergesetzt haben. Doch sind hier nicht alle Elektromagnete parallel geschaltet, sondern

Fig. 389.



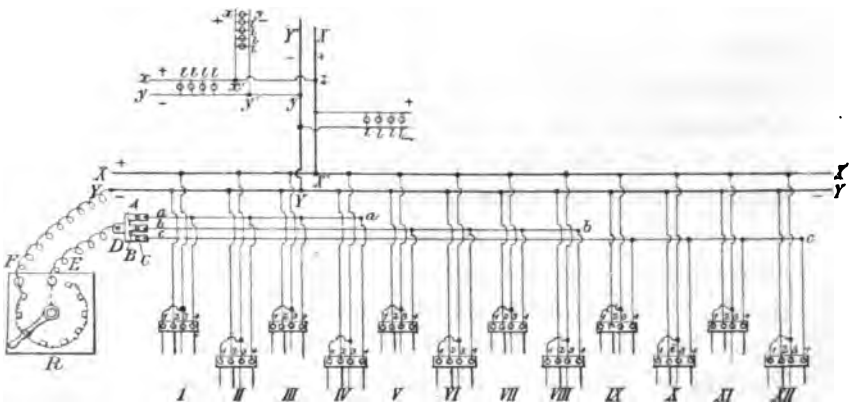
Installation der Edison-Maschinen im Krystall-Palast zu Sydenham.

in Gruppen von je vier sind diejenigen Maschinen, welche von der gleichen Dampfmaschine getrieben werden, an die Drähte a b c angeschlossen. Diese drei Leitungen führen zu dem Umschalter D, welcher durch den Regulator R mit der Hauptleitung Y verbunden ist. Durch den Um-

Digitized by Google

schalter *D* mit den drei Stöpseln *A B C* kann nun jede der drei Gruppen von vier Maschinen in die Hauptleitung ein- oder ausgeschaltet resp. in oder ausser Function gesetzt werden, so dass innerhalb weiter Grenzen eine beliebige Anzahl Lampen angezündet oder ausgelöscht werden können, ohne das Brennen der übrigen Lampen zu beeinflussen. Auch der Verbrauch an Kraft ist wesentlich proportional der Anzahl der brennenden Lampen. Diese so einfache Anordnung ist nur dadurch möglich geworden, dass alle *Edison*-Maschinen von demselben Typus

Fig. 390.



einander völlig gleichwerthig sind, so dass bei einer gegebenen Geschwindigkeit alle Maschinen absolut gleiche Spannung und Stromstärke geben. Wäre dies nicht der Fall, so würden in einem solchen Falle alle diejenigen Störungen auftreten, welche wir im vorhergehenden Artikel über die *Gramme*-Maschinen erläutert haben.

Ein wichtiger Factor bei der Einrichtung von elektrischen Beleuchtungsanlagen, besonders wenn dieselben in grossem Maassstabe ausgeführt werden sollen, spielt die Vertheilung der Elektricität oder die Canalisation derselben in die ein-

Digitized by Google

zelnen Districte; es ist daher die eingehendere Behandlung dieses Gegenstandes durchaus begründet.

157. Canalisation der Elektricität. Bei der Anwendung der modernen Technik für die täglichen Bedürfnisse der Einzelnen in grossen Städten herrscht allgemein das Bestreben vor, grosse Centralstationen anzulegen, welche an passenden Orten errichtet und mit den Häusern der Abnehmer durch ein Canalisationssystem verbunden werden. Dieses System ist für die Versorgung mit Wasser und Gas fast in allen grösseren Städten bereits durchgeführt. In Paris finden wir ein sehr merkwürdiges System für Canalisation der comprimirten Luft, wodurch mehrere Tausende pneumatische Uhren betrieben werden. In einer ähnlichen Weise muss auch die Elektricität canalisirt werden, wenn durch dieselbe eine rationelle Erzeugung von elektrischem Licht und auch von Kraft erreicht werden soll. In der ersten Zeit der elektrischen Beleuchtung hatte die Canalisation nur eine sehr untergeordnete Bedeutung, da die dynamo-elektrische Maschine in fast unmittelbarer Nähe der einzelnen Lampe stand, welche sie speiste, und für so kleine Distanzen gab das Leitungsmaterial immer befriedigende Resultate. Erst nach Erfindung der Theilung des Lichtes, als man dazu kam, mehrere Lampen in einem und demselben Stromkreise mit einer einzigen dynamo-elektrischen Maschine zu betreiben, stellte sich das Bedürfniss ein, längere Leitungen in Verwendung zu bringen. Obgleich das Princip der allgemeinen elektrischen Beleuchtung von einer einzigen grossen Centralanstalt aus praktisch noch nicht durchgeführt ist, so sind doch schon eine grosse Zahl privater und öffentlicher Installationen entstanden, welche wenigstens im Kleinen jene allgemeine Idee darstellen, und welche zu ihrer Installation mehrere Kilometer von Drahtleitungen erfordern.

Wie allgemein bekannt ist, setzen dem Durchgang des elektrischen Stromes die verschiedenen Körper un-

Digitized by Google

gleichen Widerstand entgegen und die Ursache dieses Umstandes wird Leitungsfähigkeit genannt. Die Metalle besitzen diese Eigenschaft von allen Körpern im höchsten Grade, wenn auch in verschiedenem Maasse. Dies geht aus der folgenden Tabelle hervor, welche die für die elektrische Leitung wichtigsten Metalle, geordnet nach abnehmender Leitungsfähigkeit, enthält. Die Zahlen geben den relativen Werth derselben, verglichen mit dem des Silbers, welches von allen bekannten Körpern die Elektricität am besten leitet.

Silber	100	Paladium	12
Kupfer	80	Platin	10
Gold	55	Blei	9
Zink	26	Antimon	4
Zinn	15	Quecksilber	1,6
Eisen	13	Wismuth	1,2.

Diese Zahlen sind noch nicht ganz zuverlässig, vielmehr werden von den verschiedenen Forschern abweichende Zahlen gefunden, was darin seinen Grund hat, dass die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle nicht nur in der empfindlichsten Weise von den kleinsten chemischen Beimengungen verändert wird, sondern auch selbst von ihrer Structur abhängt. Man erhält deshalb z. B. für das Kupfer sehr verschiedene Werthe, je nachdem dasselbe gehämmert, gezogen oder ausgeglüht ist. Wenn man die vorstehende Tabelle betrachtet, so sieht man leicht, dass die Zahl derjenigen Metalle, welche als elektrische Leiter Verwendung finden können, eine sehr beschränkte ist. Ein Theil derselben, wie Silber, Gold, Platin, ist viel zu kostbar, um eine allgemeine Verwendung hierzu finden zu können. Silber- und Platindrähte werden wohl bei der Construction von Präcisions-Instrumenten verwendet. Ein anderer Theil der Metalle obiger Liste, wie Zink, Zinn, Blei, müssen deshalb ausgeschlossen werden, weil sie nicht die erforderliche Biegsamkeit oder Festigkeit besitzen. Ganz

Digitized by Google

allgemein werden als elektrische Leiter nur Kupfer und Eisen benutzt und einige Legirungen derselben, wie Phosphorbronze.

Für Leitungen auf eine grosse Distanz, welche Drähte von grossem Durchmesser erfordern, wird gewöhnlich nicht ein einzelner Draht verwendet, sondern Seile, welche aus vielen dünnen Drähten oder Litzen zusammengeflochten sind. Dieses hat zwei Gründe: einmal erhält dadurch der Kupferdraht eine viel grössere Biegsamkeit. Ein Kupferdraht von mehr als 5mm Dicke erfordert bei starken Biegungen ziemliche Sorgfalt und solche gebogene Stellen sind bei Veränderung einer Installation, wo sie wieder gestreckt werden müssen, wegen Bruch gefährlich. Drahtseile dagegen, welche aus vielen dünnen Kupferdrähten bestehen, sind viel geschmeidiger und können leichter schadlos gebogen und wieder gerade gestreckt werden. Ein zweiter Punct, warum die Drahtseile vorzuziehen sind, beruht in der Verbindung zweier verschiedener Leitungsstücke. Zwei dicke Kupferdrähte können nur so leitend verbunden werden, dass ihre beiden Enden entweder mit Schraubenvorrichtungen zusammengehalten werden oder dass man sie zusammenlöthet; Schraubenvorrichtungen sind aber bei unterirdischen isolirten Leitungen sehr schwer anzubringen, und das Löthen ist eine unzuverlässige Verbindung; denn es ist eine Thatsache der Erfahrung, dass die Löthstelle beim Durchgang des elektrischen Stromes langsam zerstört wird. Seilkabel dagegen sind äusserst leicht, einfach und sicher mit einander zu verbinden, indem man die einzelnen Adern, aus welchen dieselben bestehen, mit einander verflicht.

Es würde gewisse Vortheile haben, als Leiter einen in der Luft aufgehängten, unbedeckten Draht zu verwenden. Der Draht würde sich viel leichter abkühlen und die Leitung wäre verhältnissmässig billig herzustellen. Aber diese Methode begegnet in der Praxis vielen Hindernissen. Ein in

Digitized by Google

der Luft aufgehängter Draht ist vielen Zufälligkeiten unterworfen. Die Feuchtigkeit der Luft würde viele Stromverluste an den Befestigungsstellen des Drahtes verursachen. Man ist sodann durch viele andere Rücksichten, ästhetische, polizeiliche u. s. w. gezwungen, die Leitungen unterirdisch zu legen. Diese müssen alle sorgfältig isolirt sein, und zwar deshalb, weil elektrische Ströme von so hoher Spannung, wie sie bei der elektrischen Beleuchtung verwendet werden, überall zu entweichen suchen, wo sich ihnen eine Gelegenheit bietet. Die gewöhnliche Feuchtigkeit des Erdbodens bietet genügende Leitungsfähigkeit, um einem in demselben eingebetteten blossen Kupferdrahte den grössern Theil der Elektricität zu entziehen. Dadurch würde nicht bloss ein grosser Verlust an Elektricität und Kraft eintreten, sondern die schlechte Isolirung würde sich auch an dem flackernden Brennen des Lichtes zeigen.

Es gibt noch einen zweiten Grund, warum die elektrischen Leitungen isolirt werden müssen, nämlich den, um Leute, welche mit den elementarsten Eigenschaften der Elektricität unbekannt sind, vor Berührung mit denselben zu schützen und Beschädigungen dadurch vorzubeugen.

Der grössere Theil der elektrischen Lichtleitungen ist deshalb durch eine isolirende Hülle geschützt, die dünneren Drähte werden mit Seide, die dickeren mit Guttapercha, Kautschuk oder anderen Materialien umhüllt. Guttapercha ist billiger als irgend ein anderes Isolirungsmaterial; aber dieser Vortheil wird wiederum durch verschiedene Nachtheile aufgewogen, die mit der Eigenschaft der Guttapercha zusammenhangen, dass sie schon bei sehr mässiger Wärme weich wird, der Draht aus seiner centralen Lage gebracht und dadurch die Isolation der Leitung vermindert wird. Der Kälte ausgesetzt, wird die Guttapercha hart, bekommt Sprünge, durch welche Dämpfe zu dem Draht eindringen können und so dem Strom Abwege öffnen.

Digitized by Google

Die Isolirung mit Kautschuk ist viel wirksamer. Die um den Draht gelegte Kautschukhülle wird gewöhnlich durch zwei in entgegengesetzter Richtung gewickelte Bänder zusammengehalten. In der Regel wird der Draht vor dem Isoliren mit einer dünnen Schicht von Zinn bedeckt, um das Kupfer vor der schädlichen Einwirkung des vulcanisirten Kautschuk zu schützen. Wegen des stets steigenden Preises des Kautschuks ist diese Methode jedoch sehr kostspielig und man hat deshalb mit grossem Erfolge versucht, andere Materialien zur Isolirung zu verwenden.

158. **Die Kabel von Berthoud, Borel & Cie.** Schon im Jahre 1845 patentirte[1]) *Sir Charles Weatstone* folgende Methode für die Isolirung von elektrischen Leitungen. Die einzelnen Drähte werden mit Wollenfäden umwickelt und mit Schellack getränkt. Die einzelnen, so isolirten Drähte werden mit Bleiweiss und Stärke zu einem Bündel vereinigt und in eine Bleiröhre eingeschlossen, welche entweder aus Tafeln gebildet und längs der Naht zusammen gelöthet wird oder um das Drahtbündel durch hydraulischen Druck gepresst werden kann in der wohlbekannten Weise, wie Bleiröhren aus halbgeschmolzenem Metall fabricirt werden. Diese Methode der Herstellung elektrischer Kabel wurde vor einigen Jahren wieder aufgenommen und mit grossem Erfolge von *Berthoud* und *Borel* verbessert. In den früheren Versuchen verwendeten dieselben zur Herstellung ihrer Kabel einen Draht von Blei oder Zinn, welcher von einer Bleiröhre umgeben ist. Der cylindrische Raum zwischen beiden wird durch ein isolirendes Material, Schwefel oder Harz, ausgefüllt. Diese Kabel haben zwei Fehler. Erstens ist die Seele derselben, Blei oder Zinn, ein für die meisten Fälle zu schlechter Leiter; zweitens zerfällt das Isolirmaterial bald zu einem feinen Staube, wodurch die gute Isolirung des Kabels gefährdet

1) Engl. Patent-Rolle Nr. 10 655.

Digitized by Google

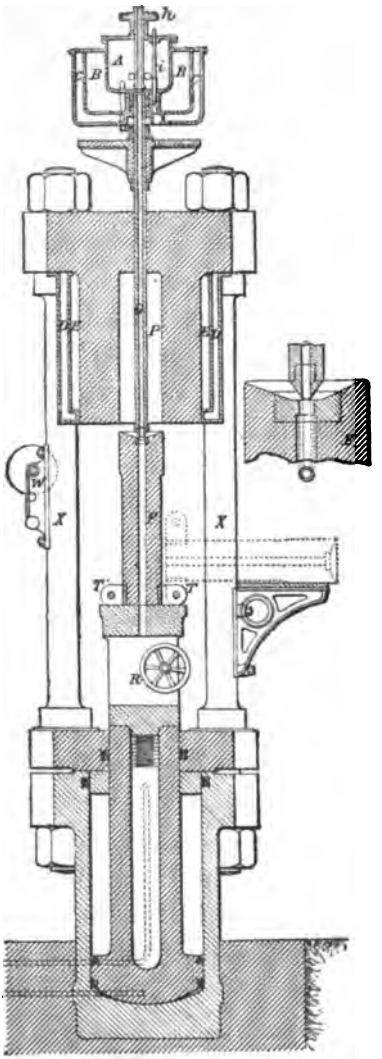
wird. Die jetzt in den Fabriken von *Berthoud, Borel & Cie.* in Grenelle bei Paris und Cortaillod bei Neuenburg (Schweiz) hergestellten Kabel gehören zu den vollkommensten, die gegenwärtig bekannt sind. Die Seele dieser Kabel wird aus einem oder mehreren Kupferdrähten gebildet. Dieselben werden bedeckt mit mehreren Schichten von Baumwollfäden, welche in verschiedenen Richtungen um die Drähte gewickelt werden, d. h. abwechselnd rechts- und linksläufig. Dadurch erhält man eine sehr solide und vollkommene Bedeckung des Drahtes. Dieser so übersponnene Draht wird während mehrerer Stunden in ein Bad von geschmolzener Isolirmasse gebracht. Letztere besteht hauptsächlich aus einer Mischung von Paraffin und Colophonium, welche auf eine Temperatur von 200—250° Celsius erwärmt wird. Dieses Bad hat den Zweck, die Feuchtigkeit aus der Baumwolle zu entfernen und dieselbe mit dem Isolirmaterial zu imprägniren. Die so isolirten Drähte werden in eine Bleiröhre eingeschlossen. Die Figuren 391 und 392 zeigen die Maschinen, mit welchen dies geschieht. Die Bleimasse wird durch einen hydraulischen Cylinder zusammengepresst, zu einer Röhre geformt und über den durch Baumwolle und Paraffin isolirten Draht gezogen. Die Bleimasse füllt die Kammer *P* vollständig aus. Sie hat in der Mitte eine Oeffnung, welche gleich ist dem Durchmesser der äusseren Röhre *G*. Der Kolben *F* wird aufwärts getrieben durch eine hydraulische Presse, welche unterhalb des Apparates angebracht ist. Die Röhre *G* und der Kolben *F* sind fest mit einander verbunden, an dem untern Ende besitzt die erstere ein konisches Stück, welches den innern Durchmesser der Röhre bestimmt, und seitlich der Fig. 391 in grösserm Maassstabe dargestellt ist.

Die Röhre *G*, welche den isolirten Draht aufnimmt, mündet in den Recipienten *A* der mit dem Bade von geschmolzenem Isolirmaterial angefüllt ist. Dasselbe hat durch Oeffnungen

Digitized by Google

freien Eintritt in die Röhre *G*. Das umgebende Gefäss *B* ist mit heissem Öel angefüllt, das die Isolirmasse auf der passenden Temperatur erhält. Dasselbe fliesst auch in die Höhlung *E* und hält dort die mit Blei angefüllte Kammer auf der richtigen Temperatur. Die äusseren Kammern *C* und *D* sind mit Kohlenstaub oder einer andern die Wärme schlecht leitenden Substanz angefüllt. Fig. 392 gibt eine Totalansicht der für Fabrication dieser Kabel verwendeten Maschine und die Art der Fabrication ist nun leicht zu verstehen. Der mit Baumwolle bedeckte Draht wird auf einer Rolle aufgewickelt in das Bad von Paraffin und Colophonium getaucht; er wird dann langsam abgewickelt und durch die Röhre *G* gezogen, wo er zum zweiten Mal durch die Isolirmasse getränkt wird. Der Kolben *F* presst das Blei, welches nur durch den ringförmigen Raum zwischen dem äussern Theile der Röhre *G* und der Höhlung, welche der Kolben durchzieht,

Fig. 391.



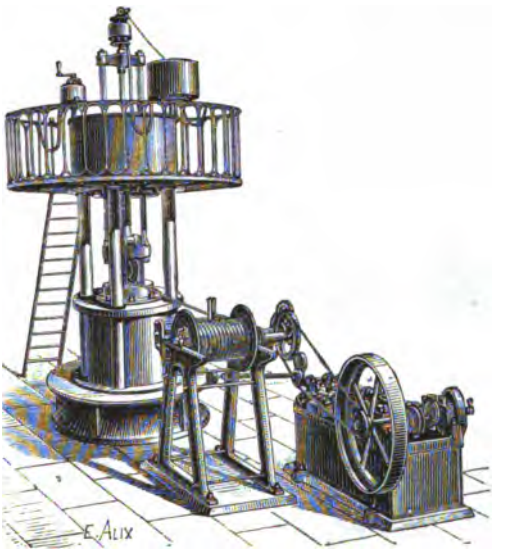
Maschine für die Fabrication von Lichtkabeln. (Querschnitt.)

Digitized by Google

austreten kann. Der isolirte Draht kommt so in eine Röhre, welche ihn genau umschliesst. Das mit dem Bleimantel versehene Kabel tritt über die Rolle *R* aus der Maschine heraus und wird auf eine Trommel aufgewickelt, welche durch eine Dampfmaschine bewegt wird.

Wenn die Kabel unterirdisch gelegt werden müssen, so werden besondere Vorsichtsmaassregeln angewendet, um

Fig. 392.



Maschine für die Fabrication der elektrischen Lichtkabel. (Ansicht.)

das Blei vor Zerstörung zu schützen. Gewöhnlich wird eine zweite Hülle von Blei umgelegt und der Zwischenraum zwischen beiden mit Theer ausgefüllt. Aber auch ein blosser Ueberzug von Gastheer schützt schon das Blei viele Jahre vor Zerstörung.

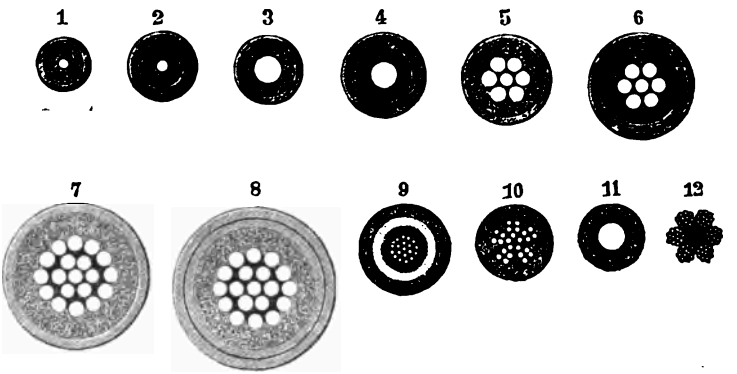
Die eben besprochenen Kabel zeichnen sich durch eine ausserordentlich grosse und starke Isolirung aus. In der internationalen Elektricitäts-Ausstellung zu München wurden dieselben von der Prüfungscommission für elektrotechnische

Digitized by Google

Versuche einer Prüfung unterworfen und gefunden, dass sie bei einer Temperatur von 24° Celsius einen Isolationswiderstand von 2830 *Megohm*, d. h. 2830 Millionen *Ohm* per Kilometer haben. Der Process der Fabrication wie genaue Messungen zeigen, dass ein solches Kabel ohne Schaden sehr hohe Temperaturen ertragen kann.

159. Licht-Leitungen und Lichtkabel von Felten & Guilleaume. Ganz vorzüglich hat sich neuerdings eine Isolation bewährt, welche die Firma *Felten & Guilleaume* in Mülheim a. Rhein für ober- und unterirdische Telegraphen- und Telephonleitungen anwendet und welche sich nicht minder für Lichtleitungen als sehr brauchbar erweist. Derartige isolirte Kabel sind durch die Fig. 393 (1—12)

Fig. 393.



Elektrische Lichtkabel von Felten & Guilleaume.

illustrirt. Die Leitung besteht entweder aus einem einzigen Draht von genügend grossem Querschnitt (Fig. 1—4) oder aus einer Litze, bezw. aus einem Seile von einer Anzahl dünnerer Kupferdrähte, z. B. aus 7 Drähten (Fig. 5 u. 6) oder aus 19 Drähten (Fig. 7 u. 8) oder aus 7 Litzen à 7 mithin im Ganzen 49 Drähten (bei sehr schweren Leitungen). Die Kupferdrahtleitung wird je nach Bedürfniss ein-, zwei- oder dreimal mit Hanfgarn umflochten, welches

Digitized by Google

durch ein besonderes Verfahren absolut trocken gemacht und dann mit einer besonderen Mischung aus Harzen und Oelen unter Druck imprägnirt ist. Ueber die imprägnirte Hanfumspinnung wird ein getheertes Band fest umwickelt und das Ganze dann mit Hülfe einer hydraulischen Presse mit einem Bleimantel umgeben. Soll das Kabel in die Erde gelegt werden, so erhält dasselbe noch einen zweiten Bleimantel und darüber eine Umspinnung mit asphaltirtem Hanfgarn. Liegt eine besondere Gefahr vor, dass das Kabel mechanisch beschädigt werde, so wickelt man über den zweiten Bleimantel noch ein asphaltirtes Band und armirt das Kabel mit verzinkten Eisen- oder Stahldrähten. In Fig. 1, 3, 5 u. 7 (S. 732) sind solche *Felten & Guilleaume*'schen Kabel mit einfachem Bleimantel (für Luftleitung) und in Fig. 2, 4, 6 u. 8 dieselben Kabel mit doppeltem Bleimantel (für unterirdische Leitung) abgebildet. Diese Kabel können sehr hohen Temperaturen (200 bis 300° C.) ausgesetzt werden, ohne dass ihre elektrischen Eigenschaften dadurch leiden, und sie haben ausserdem noch den Vorzug der Billigkeit, indem sie nur etwa halb so theuer sind wie Kabel mit Guttapercha-Adern und nur etwa ein Drittheil von dem Preise der Kabel mit Gummi-Adern kosten.

Fig. 9 zeigt den Querschnitt einer mit Gummi isolirten Leitung aus 19 je 8mm starken Kupferdrähten, welche erst mit Hanfgarn umflochten, dann getheert und schliesslich noch paraffinirt sind.

Das in Fig. 10 im Querschnitt abgebildete Kabel besteht aus 25 Kupferdrähten, je 1mm stark, welche so angeordnet sind, dass sich 4 äussere Litzen aus je 4 solcher Drähte um eine Kernlitze aus 5 solcher Drähte legen. Das so gebildete Kupferdrahtseil ist mit Asbestband und gummirtem Band umwickelt, dann mit Hanfgarn umsponnen, getheert und paraffinirt.

Digitized by Google

Das in Fig. 11 im Querschnitt abgebildete Kabel ist genau so wie das vorige isolirt, hat aber an Stelle des 25drähtigen Seiles nur einen einzigen Draht von 4mm Stärke.

Sind derartige Isolirungen auch in manchen Fällen ausreichend, so genügen sie doch nicht, wenn die Leitungen in der Nähe anderer Leitungen oder leitender Körper (u. A. auch an feuchten Wänden) liegen. Wenn zwei Lichtleitungen neben einander liegen, so muss nicht bloss auf eine ganz besonders zuverlässige Isolirung Bedacht genommen werden, sondern auch auf Feuersicherheit, damit nicht etwa ein Funken überspringt, wodurch eine eminente Feuersgefahr geschafft werden würde. Bei den stark gespannten Strömen, mit welchen man bei elektrischer Beleuchtung und elektrischer Kraftübertragung zu rechnen hat, sollte man den Kupferquerschnitt zwar immer reichlich gross wählen; aber selbst bei hinreichend grossem Kupferquerschnitt liegt die Gefahr vor, dass der Leitungsdraht in Folge irgend einer zufälligen Ursache sich bis zum Glühen erhitzt. Ist dann die Isolirung der Art, dass sie durch die Berührung mit dem glühenden Draht zum Brennen kommt, so wird nicht allein die Isolirung zerstört, sondern auch eine grosse Feuersgefahr für das erleuchtete Gebäude geschaffen. Deshalb wird namentlich von den in Gebäuden (oft an Holzwänden u. s. w.) angebrachten Leitungen gefordert, dass sie feuersicher isolirt sind, was man am besten dadurch erreicht, dass man die isolirende Hanfumwicklung mit Asbest, Zinkoxyd oder ähnlichen Stoffen imprägnirt und feuersicher macht.

Die Leitungen in Zimmern und Sälen pflegt man, um sie weniger sichtbar zu machen, mit Baumwollen- oder Wollengarn von der Farbe der Decoration der betreffenden Räume zu umflechten. In ähnlicher Weise werden auch die Zuleitungen zu Kronleuchtern u. s. w. mit bronze-

Digitized by Google

farbenem Wollengarn umflochten. Diese Zuleitungen, welche recht biegsam sein müssen, um sich den Formen der Leuchterarme anzuschmiegen, werden in der genannten Fabrik aus einer grossen Zahl ganz dünner (0,2 bis 0,3mm) Kupferdrähte hergestellt.

Die Seilchen zum Aufziehen der Lampen werden, um die Führungsrollen möglichst klein nehmen zu können, aus 0,55mm starken weichen Stahldrähten gemacht, welche verzinkt werden, um sie vor dem Rosten zu bewahren. Man vereinigt entweder 49 Drähte (7 Litzen aus je 7 Drähten) oder 72 Drähte (6 Litzen aus je 12 Drähten) zu einem Seile. In Fig. 12 ist der Querschnitt eines Seiles der letzteren Construction abgebildet. Die 6 Litzen sind um einen Kern aus Hanfgarn gewunden.

160. Das Canalisationssystem von Edison. Die Transmission der Elektricität zur Erzeugung des elektrischen Lichtes wird bei geringen Strommengen durch Drähte bewirkt. Bei Beleuchtung von Städten oder Stadttheilen hingegen werden zur Fortleitung der gewaltigen Elektricitätsmengen, welche die Maschinen der Centralstationen erzeugen, Leitungen von bedeutendem Querschnitte benutzt. Die von *Edison* hierzu verwendeten Stäbe, deren Querschnitte Kreissegmente bilden, liegen mit einander zugewendeten Flächen innerhalb schmiedeeiserner Röhren, die im Innern mit Isolirmasse gefüllt, aussen zum Schutz gegen Rost mit getheerten Bändern umwickelt sind. Es ist von hoher Wichtigkeit für Herstellung einer guten Leitung, dass jede gegenseitige Berührung der Kupferstäbe vermieden und die gleiche Entfernung derselben von einander auf der ganzen Länge bewahrt werde. Deshalb schiebt man ausgestanzte und in Isolirmasse getränkte Pappscheiben, welche durch Schnüre in gewisse Entfernungen unter einander verbunden sind, über die Leiter, welche hierauf in das Rohr eingesetzt und mit Isolirmasse von eigenartiger

Digitized by Google

Composition umgeben werden. Die so hergestellten Röhren können wie die für Gasleitung benutzten in die Erde vergraben oder wie Wasserröhren und Telegraphenkabel in unterirdische Canäle gelegt werden.

Nachstehende Tabelle gibt die Querschnitte und Durchmesser der gebräuchlichen unterirdischen Leitungen:

№	Querschnitt jedes Kupferstabes	Aeusserer Durchmesser des Rohres
1	829 qmm	82 mm
1 1/2	655 „	76 „
2	436 „	70 „
2 1/2	339 „	65 „
2 3/4	250 „	58 „
3	133 „	51 „
4	92 „	48 „
5	54 „	33 „
6	33 „	33 „
7	17 „	28 „

Mit der Entfernung von den Centralstationen und Verringerung der zu speisenden Lampenzahl nimmt, wie bei anderen Canalisationen, auch der Querschnitt dieser Leiter ab. Für solche von geringerm Durchmesser als Nr. 7 der Normalprofile bedient man sich namentlich innerhalb der Gebäude einfacher Kupferdrähte mit isolirender unverbrennbarer Umhüllung.

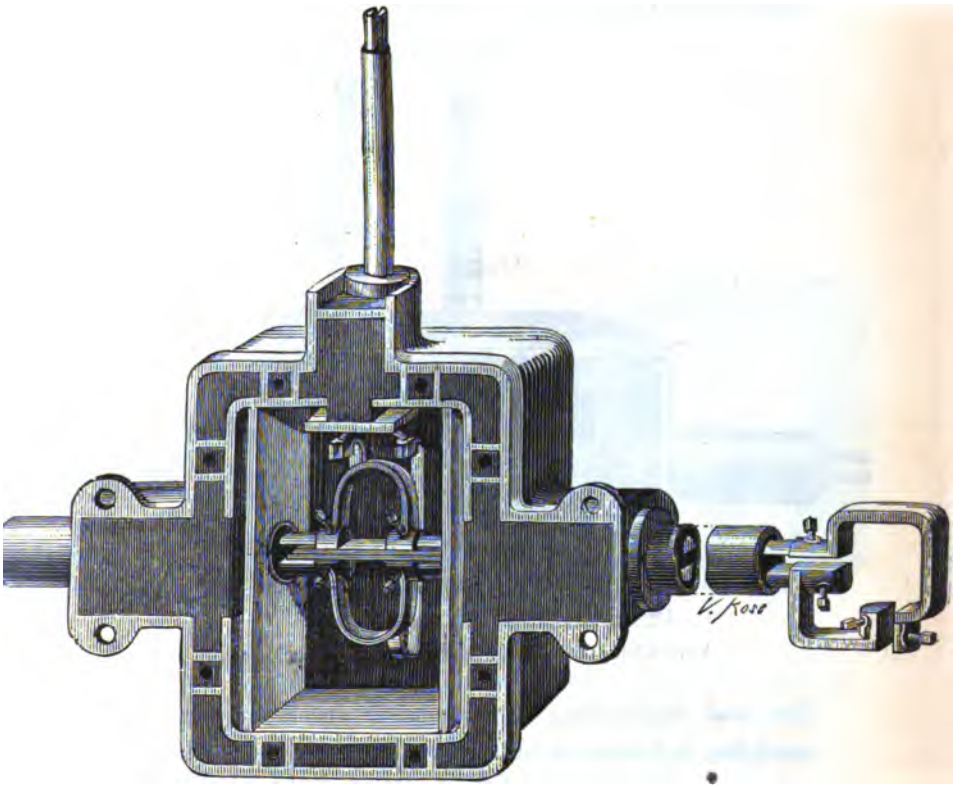
Zur Verbindung der Hauptröhren dienen aus Rothguss gefertigte Bogen mit halbcylindrischen, dem Querschnitt der Leiter entsprechenden Oeffnungen, in welchen letztere durch Schrauben befestigt und gegen die Flächen gedrückt werden, so dass die vollkommene Continuität der Leitung auch an diesen Stellen gesichert bleibt.

Fig. 394 stellt die Abzweigung einer Hausleitung dar, welche von einem in das Hauptrohr geschalteten gusseisernen Verbindungskasten aus bewirkt wird. Die Hauptleitung durchdringt diesen Kasten von beiden Seiten, um

Digitized by Google

innerhalb desselben die nackten Leiter auf die beschriebene Weise mit den Bogen paarweise zu vereinigen; an den Sporen der letzteren werden die beiden Pole der Hausleitung befestigt. Die Fig. 394 stellt zugleich ein Arrangement zum Anschluss rechtwinkliger Abzweigungen dar, bei denen die Bogen in die Form des Quadrates übergehen.

Fig. 394.



Verbindungskasten einer Haupt- und Hausleitung.

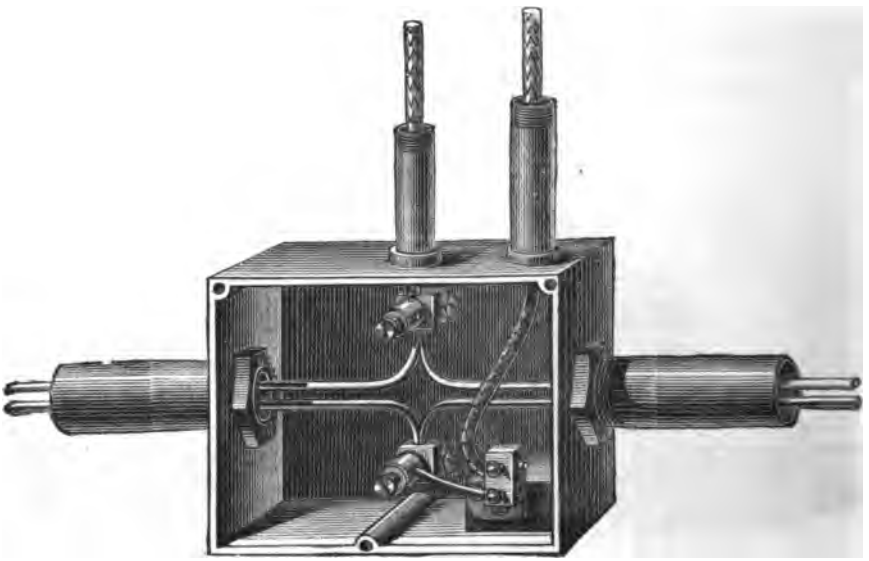
Um verschiedene Zimmerleitungen mit der Hauptleitung des Hauses zu verbinden, benutzt man kleinere, den vorigen ähnliche gusseiserne Kasten, die jedoch nicht mit Isolirmasse gefüllt sind, sondern hermetisch verschlossen und mit

Digitized by Google

einer Art isolirenden Putzes bedeckt werden. Sie sind sämmtlich mit sogenannten Blei-Einschaltungen versehen, deren Zweck aus Nachfolgendem erhellt.

Die Blei-Einschaltungen sind kurze Bleidrähte von bestimmter Stärke, welche hier und da in den Stromkreis eingefügt werden, um die Möglichkeit einer durch Erhitzung der Leitung entstehenden Feuersgefahr auszuschliessen. Wenn aus irgend einer Ursache, z. B. durch directen Contact zwischen

Fig. 395.



Verbindungskasten für Haus- und Zimmerleitungen.

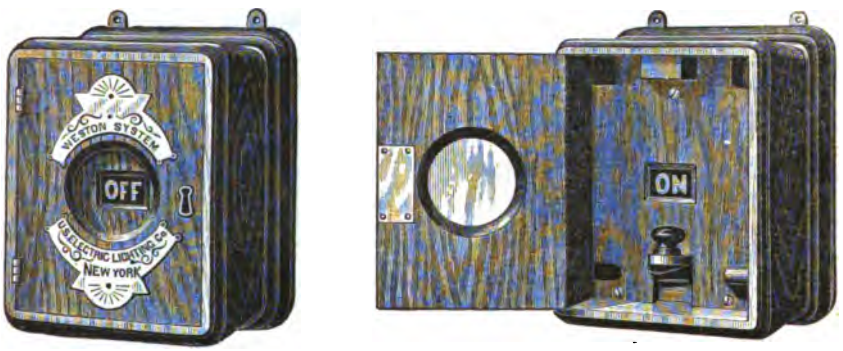
Hin- und Rückleitung, die Intensität des Stromes zu stark anwächst, so könnte leicht in Folge dessen eine gefahrdrohende Erhitzung der Leiter entstehen. Da aber der Schmelzpunct des Bleies längst überschritten ist, bevor die Temperatur der Kupferdrähte die isolirende Umhüllung entzünden könnte, so gewährt die Blei-Einschaltung einen absoluten Schutz; denn die unmittelbare Schmelzung ist Ausschaltung des Stromkreises, womit jede Gefahr beseitigt ist. Diese Blei-

Digitized by Google

Einschaltungen finden sich in jedem Hausverbindungskasten und jeder Stromabzweigung.

161. Die Stromunterbrecher. Jede Leitung, welche den Strom von auswärts, z. B. von einer Centralstation, in ein Gebäude einführt, ist mit einem Stromunterbrecher versehen, um die Leitung vollständig zu unterbrechen. Dieses ist absolut nothwendig, damit die Hausbewohner nicht geschädigt werden können, es wird dies sogar in America von den Versicherungsgesellschaften verlangt, um nächtliche Feuersgefahr auszuschliessen. Im Folgenden beschreiben wir den von der *United States Electric Lighting Co.* (*Weston*) benutzten Apparat für Bogenlicht. Derselbe ist in einem Kasten eingeschlossen. Fig. 396 zeigt zwei Ansichten

Fig. 396.



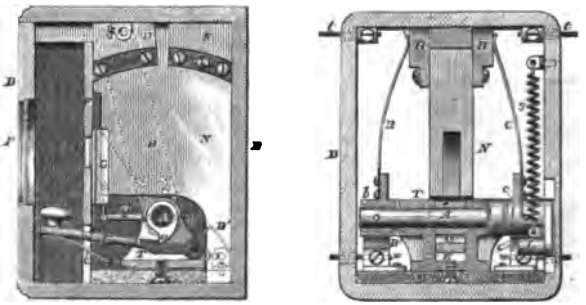
Stromunterbrecher von Weston.

desselben. In der Ansicht mit geöffneter Thür sieht man zwei Taster, den einen in der Mitte, den andern in der unteren Ecke rechts; diese beiden Tasten öffnen und schliessen die Leitung. Die Einrichtung des Mechanismus zeigt im Querschnitt und Längenschnitt Fig. 397. Die Drähte der Hauptleitung sind an die Klemmschrauben *w* im untern Theile des Kastens befestigt; diese Klemmschrauben sind elektrisch leitend verbunden mit den Federn *B* und *C*, welche von einander isolirt auf der Achse aufsitzen. Jede

Digitized by Google

Feder ist in Verbindung mit einer der beiden Platten *H* oder *K*, je nach der Lage der Welle *A*. Die Platten *H* stehen in elektrischer Verbindung mit den Klemmschrauben *T* am Kopfe des Kastens. An diese sind die beiden Drähte für die Hausleitung angeschlossen und der Strom fliesst also über *w b B H t* in das Haus und über *t H C e w'* wieder heraus. Wenn aber die Federn *B* und *C* auf den hinteren Platten *K K* aufliegen, so ist die Leitung in das Haus unterbrochen, und ein die beiden Platten *K K* verbindendes Metallstück bildet zwischen den beiden Enden der Hauptleitung einen kurzen Schluss. Wenn der Taster rechts

Fig. 397.



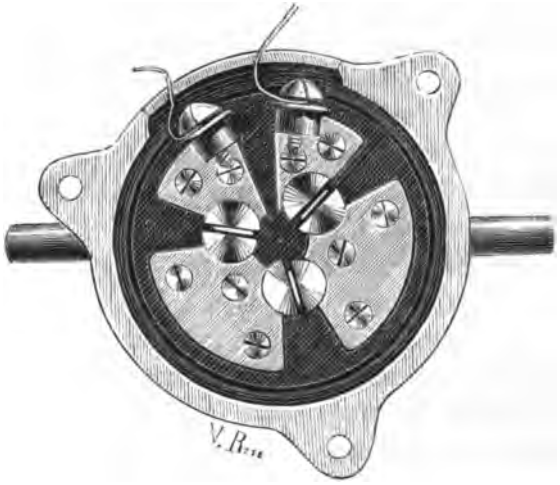
Mechanismus des Stromunterbrechers von Weston.

unten im Kasten niedergedrückt wird, so kommen die Federn *B C* zur Berührung mit den Platten *H* und machen Schluss mit der Hausleitung. Eine Nase *a* an der Achse *A* legt sich dabei in einen Einschnitt im Hebel *E*, um die Federn festzuhalten. Wenn dagegen der Hebel *E* in der Mitte des Kastens niedergedrückt wird, so zieht die Spiralfeder *S* die Achse schnell rückwärts, wodurch die Federn *B* und *C* mit den Platten *K K* zum Contact gebracht und die Hausleitung unterbrochen wird. Der Indicator *G*, der mit der Achse in Verbindung steht, zeigt aussen sichtbar an, ob die Hausleitung offen oder geschlossen ist.

Digitized by Google

Auch bei der Glühlichtbeleuchtung macht *Edison* mit Vortheil Gebrauch von Ausschaltern. Sie werden in die

Fig. 398.



Umschalter von Edison, Unteransicht.

Hauptleitung des Hauses oder der Wohnung eingeschaltet, bevor die schwächeren Drähte der allerwärts zerstreuten

Fig. 399.

Umschalter von Edison für 8 bis 30 Lampen.

Apparate sich abzweigen. Wie aus der Zeichnung (Fig. 398) ersichtlich ist, werden sie mit Schrauben an Wände

Digitized by Google

und Mauern befestigt. Ihre Construction stimmt im Allgemeinen mit der der Fassungshähne der *Edison*-Lampen (siehe Seite 664) überein; während diese aber nur einen Contactkegel enthalten, besitzen jene deren drei, welche durch Drehung einer gemeinschaftlichen, doppelarmigen Kurbel den Strom öffnen und schliessen. Durch diese Einrichtung wird die Funkenerzeugung, welche bei jeder Stromunterbrechung eintritt und die Metalltheile des Umschalters in kurzer Zeit stark abnützen würde, verringert und dadurch der Umschalter haltbarer gemacht.

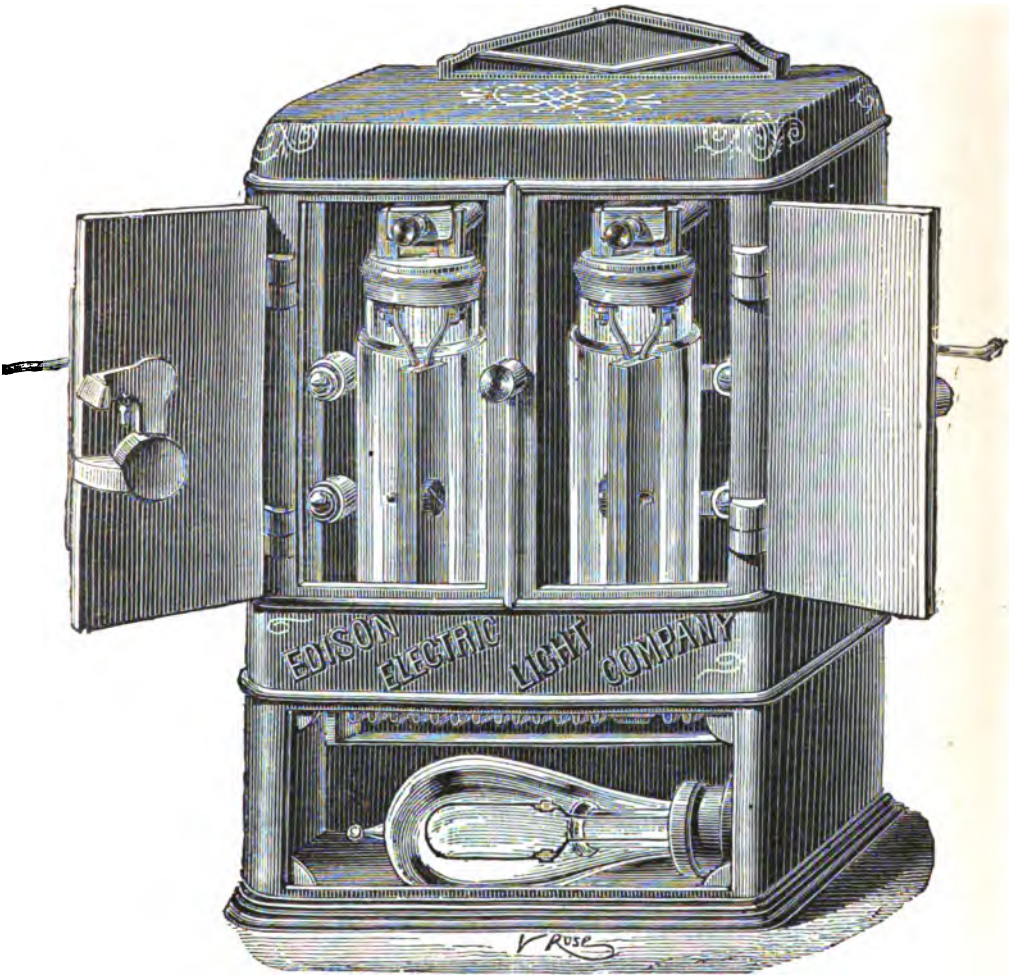
162. Der Strommesser von Edison. Wir kommen nun noch zu der Beschreibung derjenigen Apparate, durch welche die von den einzelnen Abonnenten des Canalisationsnetzes verbrauchte Elektricitätsmenge gemessen wird. Wir haben uns mit dem Princip derselben schon im §. 22 beschäftigt und wenden uns nun noch zu der praktischen und geistreichen Ausführung desselben. Das Princip dieses sogenannten Strommessers von *Edison* beruht auf der von *Faraday* gefundenen Thatsache, dass das Gewicht des Metalles, welches in einem elektrolytischen Bade in einer Minute niedergeschlagen wird, proportional ist der Elektricitätsmenge, welche während derselben Zeit durch dasselbe fliesst, d. h. mit der Stromstärke. Die in einer beliebigen Zeit durch eine Leitung fliessende Elektricitätsmenge kann deshalb bestimmt werden aus dem Gewichte des niedergeschlagenen Metalles.

Fig. 400 zeigt die Form, welche *Edison* diesem Apparat gegeben hat, um die in einem einzelnen Hause verbrauchte Elektricitätsmenge zu messen. Der Apparat besteht aus zwei elektrolytischen Zellen. Beide sind in eine Nebenleitung gestellt und ihr Widerstand ist so ausgeglichen, dass durch eine Zelle 1 pCt. des ganzen Stromes fliesst, durch die andere aber nur ein Bruchtheil. Die Zu- und Abnahme des Gewichtes der Elektroden der einen Zelle werden monatlich durch Wägungen gemessen; die der an-

Digitized by Google

deren vierteljährlich. Unterhalb der beiden Zellen befindet sich eine Glühlampe, die das Gefrieren der Flüssigkeit im

Fig. 400.



Der Strommesser von Edison.

Winter verhindern soll. Sie brennt gewöhnlich nicht, schaltet sich aber selbstthätig in den Stromkreis und be-

Digitized by Google

ginnt zu glühen, sobald die Temperatur unter eine gewisse Grenze herabsinkt. Zu diesem Zwecke sind zwei durch die Wärme verschiedenartig sich ausdehnende Metallstreifen in Form einer Feder (vgl. Fig. 48) dergestalt über einander gelegt, dass sie in Folge ungleicher Ausdehnung oder Zusammenziehung durch Temperaturveränderungen sich krümmen und im Augenblicke, wo das Thermometer auf einen gewissen Punct sinkt, einen mit dem Lampensockel verbundenen Contact schliessen. Dadurch entzündet sich die Lampe und in Folge ihrer Wärme-Ausstrahlung steigt die Temperatur der in den Flaschen enthaltenen Flüssigkeit, bis die Feder ihre frühere Gestalt wieder gewinnt, den Contact unterbricht und die Lampe erlischt.

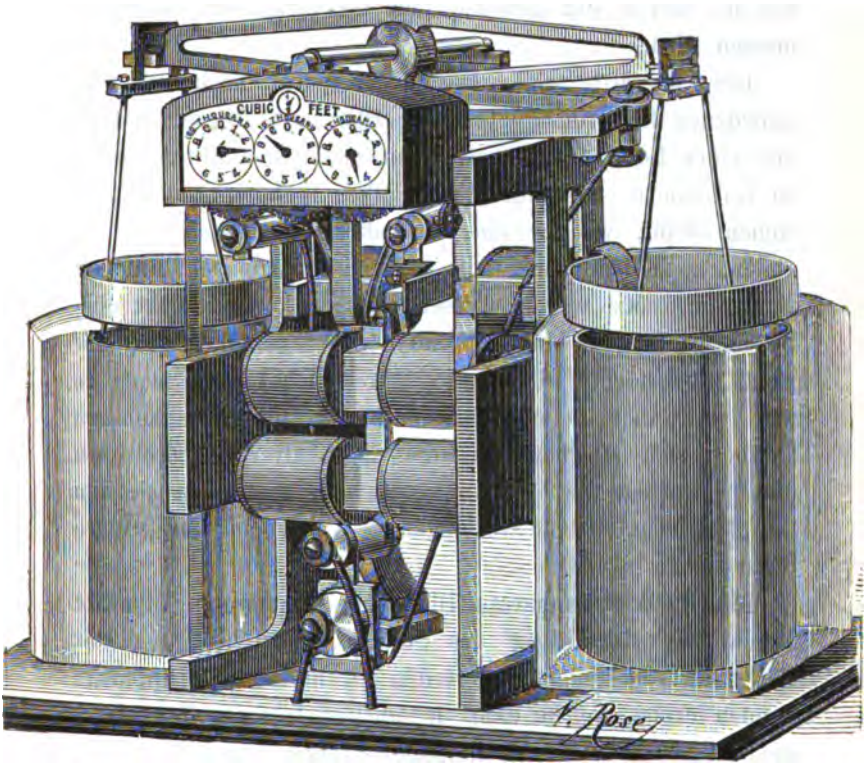
Edison hat auch einen Apparat construirt, bei welchem es nicht mehr nöthig ist, die Zu- oder Abnahme des Gewichtes der Zinkplatten zu wägen, sondern wo der durchfliessende Strom automatisch registrirt wird. Dieser Apparat ist in Fig. 401 abgebildet und besteht wiederum im Wesentlichen aus zwei elektrolytischen Zellen. Jede derselben enthält eine Lösung von Zinksulfat und einen hohlen Cylinder von Zinkblech.

Innerhalb dieses hohlen Cylinders befindet sich ein zweiter Cylinder von Zink. Diese beiden inneren Cylinder sind an den beiden Enden eines empfindlichen Waagebalkens aufgehängt. Ein bestimmter Bruchtheil des durch die Hauptleitung fliessenden Stromes fliesst auch durch die beiden elektrolytischen Zellen und zwar sind die Verbindungen so arrangirt, dass wenn in der einen Zelle das Zink von dem innern Cylinder nach dem äussern übergeführt wird, bei der anderen Zelle das Umgekehrte stattfindet. Es wird so beim Durchgang eines Stromes der eine Cylinder immer schwerer, der andere immer leichter und es ist klar, dass ein Moment eintreten muss, wo der erstere schwerer wird als der andere; dann legt sich der Waagebalken nach seiner Seite und

Digitized by Google

diese Bewegung kehrt zugleich die Richtung, in welcher der Strom den Apparat durchfliesst, um, so dass jetzt Zink in dem schwereren Cylinder weggeführt und am leichteren Cylinder niedergeschlagen wird, bis nach einer gewissen Zeit der letztere wieder das Uebergewicht erhält und den

Fig. 401.



Automatischer Strommesser von Edison.

Waagebalken wieder in die ursprüngliche Lage bringt. Dieses Spiel wiederholt sich, so lange ein Strom durch den Apparat fliesst. Mit dem Waagebalken ist durch einen Mechanismus ein gewöhnliches Zählwerk verbunden, durch welches die Anzahl der Oscillationen des Waagebalkens

Digitized by Google

registrirt werden. Da jede Oscillation einen Zinkniederschlag von einem gewissen Gewicht repräsentirt und dieses Gewicht ein Maass für die Menge Elektricität ist, welche durch den Apparat fliesst, so wird durch diesen Process automatisch der Strom gemessen und zwar nach einer Methode, welche wesentlich identisch ist mit derjenigen, nach welcher durch die gewöhnlichen Gasuhren das Gas gemessen wird.

Die Fig. 401 zeigt, dass der Apparat noch mit verschiedenen Elektromagneten ausgerüstet ist. Dieselben sind mit einer Localbatterie verbunden und haben die Aufgabe, zu verhindern, dass der Waagebalken in horizontaler Lage stehen bleibt, wo der eine Stromkreis unterbrochen, der andere noch nicht hergestellt ist, und der Apparat so ausser Funktion gesetzt würde. Dieser Umstand könnte leicht eintreten, da in dem Momente, wo der Waagebalken sich bewegt, die beiden Cylinder ungefähr gleich schwer sind; es wird nun aber in dem Momente, wo der Waagebalken anfängt sich zu bewegen, die Localbatterie geschlossen und es werden die Elektromagnete so erregt, dass sie den mit dem Waagebalken verbundenen Anker auf die andere Seite ziehen.

163. Die Schutzapparate. Die bisher betrachteten Apparate dienen zur Regulirung des Stromes und Sicherung des Betriebes. Im Folgenden werden wir noch einige Apparate kennen lernen, welche dann in Function treten sollen, wenn die Anlage oder ein Theil derselben betriebsunfähig wird. Wenn aus irgend einem Grunde eine Lampe erlischt oder eine Leitung zerstört wird, so ist gewöhnlich die Folge davon ein übermässiges Anwachsen des Stromes in den anderen Theilen der Leitung und in Folge dessen eine Erhitzung derselben, welche eine Zerstörung der Apparate und Feuersgefahr für die Umgebung zur Folge haben kann. Es werden daher an passenden Orten in der Leitung

Digitized by Google

Apparate eingeschaltet, welche, sobald der Strom ein bestimmtes Maximum überschreitet, Maschinen und Lampen ausschalten und die Leitung unterbrechen. Zum Schutz der Maschinen werden unmittelbar neben denselben Apparate eingeschaltet, welche den Zweck haben, die Maschinen sofort ausser Function zu setzen, wenn die Stromstärke zu gross geworden ist.

So haben *Siemens-Halske* mit ihrer Trommel-Maschine einen

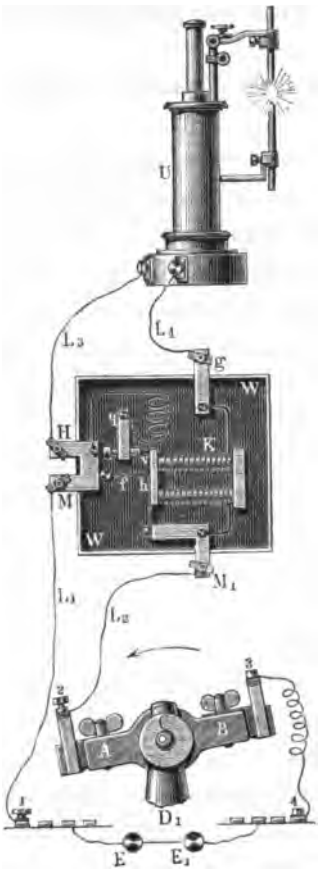
164. Selbstthätigen Umschalter verbunden, durch welchen automatisch in demselben Augenblicke ein künstlicher Widerstand in die Leitung eingeschaltet wird, wo dieselbe aus irgend einer Ursache in der elektrischen Lampe unterbrochen wird. Die Einrichtung und Schaltungsweise eines solchen Umschalters ist aus der Fig. 402 zu ersehen, in welcher $A\ B$ den in Figur 132 beschriebenen Klemmenträger, D_1 den vorderen Träger der Eisenstange C, $E\ E_1$ die beiden Elektromagnete der Maschine U die elektrische Lampe und $W\ W$ den Umschalter bezeichnet. Letzterer besteht aus einem Elektromagnet K, mit Anker h, der Abreissfeder f, der Contactschraube v und dem künstlichen Widerstande q, der an Grösse ungefähr dem Widerstande gleich kommt, welchen der Flammenbogen dem elektrischen Strome entgegensetzt. Dem dynamo-elektrischen Princip gemäss sind die beiden Elektromagnete der Maschine in dem Schliessungskreise des aus der letzteren bei den Klemmen 2 und 3 eintretenden Inductionsstromes zwischen den Klemmen 1 und 4 eingeschaltet, die übrigen Theile der Leitung zeigt die Figur ohne Weiteres.

Der Strom verfolgt den Weg von 3 aus über 4, E_1, E, 1, L_1, M, H, L_3, Lampe U, L_4, g, K, M_1, L_2 nach 2 zurück. Da der kleine Elektromagnet, so lange der Strom durch die Kohlenstäbchen der Lampe geht, vom Strome umflossen ist, so hält er seinen Anker h angezogen und

Digitized by Google

von der Contactschraube v entfernt. Sobald aber der Flammenbogen zwischen den Kohlenspitzen erlöscht, wird der Strom für einen Augenblick unterbrochen; die Feder f reisst dann den nicht mehr angezogenen Anker h ab, legt ihn an den Contact v an und schliesst dadurch die in der Lampe unterbrochene Leitung von Neuem, wobei dem Strome mit Umgehung der Lampe und des Elektromagnets K ein neuer Weg über M, q, v, h, M_1, L_2, u. s. w. durch den Widerstand q dargeboten wird. Da nun q dem Widerstande des Lichtbogens nahezu gleichgewählt wird, so bleibt der Strom nicht nur während des Nichtleuchtens der Lampe hergestellt, sondern er circulirt auch nahezu in unveränderter Stärke durch die Leitung, mag die Lampe leuchten oder nicht. Stellt die Lampe durch ihre eigene Thätigkeit den Lichtbogen wieder her, so geht der Strom wieder über L_4, g durch K, wodurch der Contact v geöffnet und der anfängliche Zustand in der Leitung wieder hergestellt wird.

Fig. 402.



Umschalter zu Siemens-Halske's Lichtmaschine.

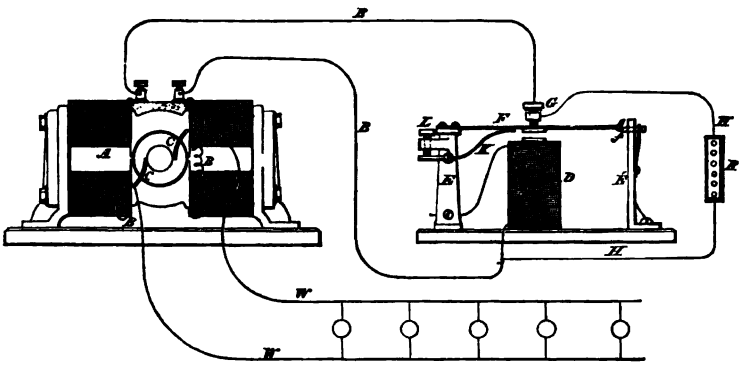
Gleiches erfolgt durch die in §. 109 beschriebenen Nebenlampen, welche ausserdem den Vortheil gewähren, dass bei Anwendung einer einzelnen Lampe niemals plötzliche Dunkelheit eintreten kann.

Digitized by Google

Selbstthätige Umschalter (vgl. §. 126, 129) sind auch mit Nebenschluss und Differential-Lampen zu verbinden, bei welchen zwar der Strom im Nothfalle den Nebenschluss durchfliessen könnte, dadurch aber bei dem grossen Widerstande zu sehr geschwächt würde.

Fig. 403 zeigt den Ausschalter für eine Maschine deren Elektromagnete *A* in einer Nebenleitung *B* liegen. Er besteht aus einem Elektromagnet *D*, dessen Anker *F* durch eine Feder *K* an den Contact *G* angelegt wird. Die Spannung der Feder *K* ist so regulirt, dass bei normaler Stromstärke der Elektromagnet nicht genügend Kraft hat, seinen

Fig. 403.



Ausschalter für Nebenschluss-Maschinen.

Anker anzuziehen. Wenn aber aus irgend einem Grunde der Strom seine Normalstärke übersteigt, so wird der Anker angezogen und der Contact bei *G* unterbrochen. Dadurch wird aber die Nebenleitung nicht ganz aufgehoben, sondern es besteht eine Zweigleitung *H*, welche einen sehr hohen Widerstand *R* enthält. Vollständige Unterbrechung der Leitung würde die Isolirung der Elektromagnete der Maschine gefährden durch die Entladung des dabei entstehenden Extracurrents, der eine ausserordentlich hohe Spannung hat.

Digitized by Google

Bei den grösseren Maschinen, wo eine fortwährende Controle so wie so nöthig ist, wird diese Ein- und Ausschaltung durch den Wärter besorgt.

165. Der Sicherheitsschluss. Bei einer grösseren Anlage mit mehreren Zweigleitungen hängt die Intensität des durch die einzelnen Zweige fliessenden Stromes von deren relativem Widerstand ab. Wenn aus irgend einem Grunde einer dieser Zweige Nebenschluss bekäme, so würde ein unverhältnissmässig grosser Theil des Haupt-

Fig. 404.

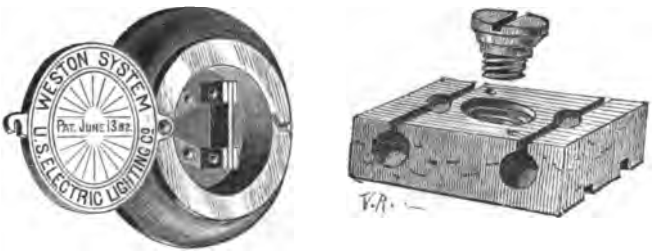
Sicherheitsschluss von Weston.

stromes in denselben abgeleitet und dies würde genügen, um die Zweigleitung gefährlich zu erhitzen oder selbst zu schmelzen. Es werden deshalb in die einzelnen Zweigleitungen Stücke aus leicht schmelzbarem Metall eingeschaltet, welche abschmelzen und die Leitung unterbrechen, bevor dieselbe durch den Strom zu stark erhitzt werden kann. Auf Seite 738 haben wir ausgeführt, wie *Edison* zu diesem Zweck Stücke von Bleidraht einschaltet. In den Figuren 404 u. 405 stellen wir den Sicherheitsschluss dar, wie er in dem *Weston*-System verwendet wird. Er besteht im Wesentlichen aus

Digitized by Google

einem Streifen einer Metalllegirung, die aus Zinn, Blei, Cadmium und Wismuth zusammengesetzt ist. Der Schmelzpunct dieser Legirung liegt ungefähr bei 70° Celsius. Der Streifen hat genügend Querschnitt, um den Strom von normaler Stärke leiten zu können, ohne die Kupferleitung zu überhitzen; aber wenn der Strom eine gewisse Stärke überschreitet, so schmilzt das leichtflüssige Metall sofort. Da der Schmelzpunct desselben unter derjenigen Temperatur liegt, bei welcher irgend ein Brennstoff anfängt zu glühen, so können die Tropfen des geschmolzenen Metalls keinerlei Schaden anrichten.

Fig. 405.



Sicherheitsschluss von Weston.

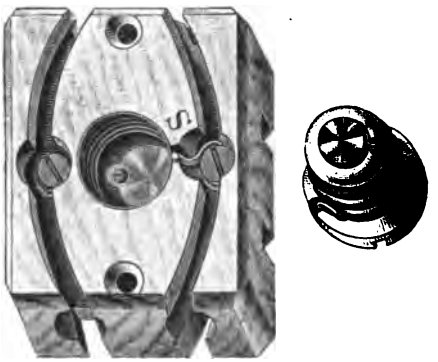
Für die Incandescenz-Lampen verwendet *Edison* den Apparat, welchen wir in Fig. 406 (S. 752) darstellen.

Er besteht im Wesentlichen aus einem Holzblock, in welchen zwei Kerben eingegraben sind, um die Leitungsdrähte aufzunehmen. Zwischen denselben, in der Mitte, ist ein Sockel eingebettet, welcher aus einer metallischen Grundplatte und einem metallischen Schraubengewinde besteht, in ähnlicher Anordnung, wie die Lampensockel von *Edison* construirt sind. Mit der Grundplatte ist der den Strom zuführende Leitungsdraht verbunden. In den Sockel passt nun eine Fassung, welche der Fassung der Lampen ganz ähnlich ist, nur sind die beiden von einander isolirten Kupfergarnituren (*D* und *E* Fig. 360), welche bei der Lampe zu den beiden Enden des Kohlenbügels führen würden, mit einem dünnen

Digitized by Google

Bleidraht direct verbunden. Die Rückleitung des Stromes geschieht mit Umgehung des Umschalters von der Hauptleitung aus. So lange nun der Stöpsel mit der Fassung ausgezogen ist, kann kein Strom in der Leitung circuliren; erst wenn durch Eindrehen des Stöpsels und durch Einschaltung des Bleidrahtes die beiden Beläge des Sockels mit einander verbunden werden, ist die Continuität der Leitung wieder hergestellt. Dieser Ausschalter kann zum Anzünden und Auslöschen ganzer Gruppen von Glühlampen dienen. Sein Hauptzweck ist aber, zu verhindern, dass ein zu starker

Fig. 406.



Sicherheitsschluss von Edison.

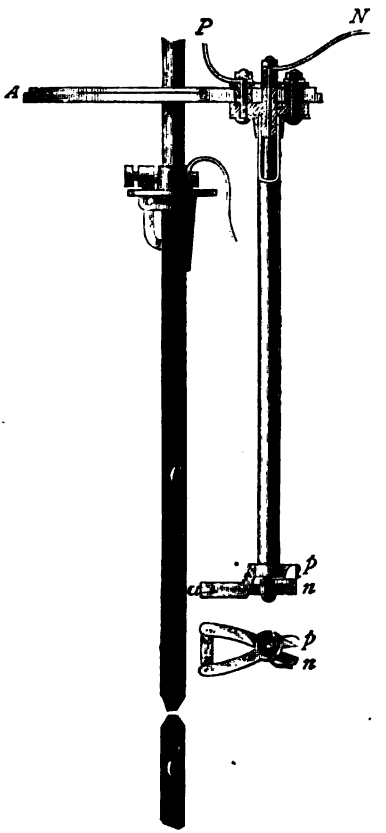
Strom durch die Lampen fliesst, deren Kohlenbügel dadurch gefährdet werden könnte. Wenn der Strom eine solche Stärke erreicht, schmilzt der Bleidraht sofort ab, unterbricht die Zuleitung zu den Lampen und rettet diese vor Zerstörung.

Die Schutzapparate bei den Bogenlampen sind so eingerichtet, dass sie die Lampen ausschalten, wenn der durch die Lampe fliessende Strom entweder zu stark oder zu schwach geworden ist. Ist der Strom zu stark geworden, so läuft der Regulirungsmechanismus der Lampe Gefahr, durch übermässige Erhitzung zerstört zu werden.

Digitized by Google

Fig. 407 zeigt eine solche Einrichtung von *Weston*, welche die Lampe automatisch ausschaltet, sobald der Strom zu stark geworden ist. Dies wird sich nebenbei darin zeigen, dass die Kohlenstäbe sich aussergewöhnlich erwärmen, und auf dieser Erscheinung beruht der Apparat. *P* und *N* sind isolirte Drähte, welche mit den Polklemmen der Lampen in Verbindung stehen und in den Contactstücken *p* und *n* endigen. Diese beiden Contactstücke sind von einander isolirt, aber eine Feder sucht dieselben zum Contact zu bringen. Dieser Feder entgegen hält der Stopfen *a* aus einer leicht schmelzbaren Substanz die Stücke *p* und *n* aus einander. Die Vorrichtung wird nun, wie aus der Figur ersichtlich, in die Nähe der oberen Kohle gebracht, aber in eine genügende Distanz vom Lichtbogen, um ein Schmelzen zu verhindern, so lange der Lichtbogen seine normale Länge beibehält. Sobald aber in Folge des stärkern Stromes der Lichtbogen verlängert wird und eine intensivere Wärme-Entwicklung eintritt, schmilzt der Stopfen, die Contactstücke werden durch die Feder zusammengepresst und bilden nun eine neue, beinahe wider-

Fig. 407.



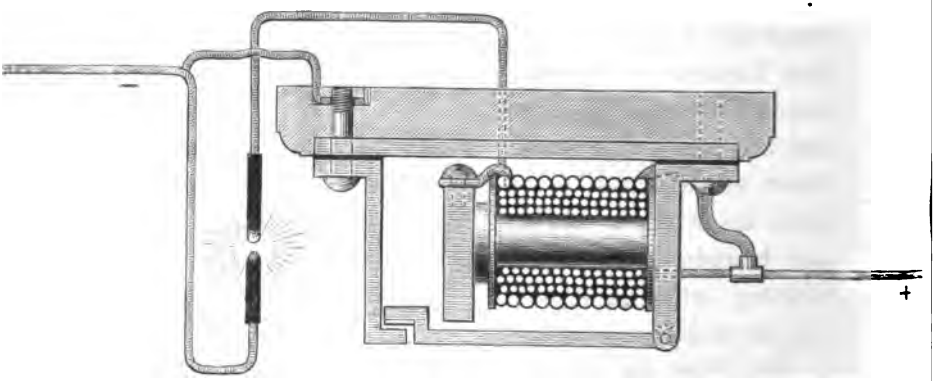
Sicherheitsschluss für Bogenlampen.

Digitized by Google

standslose Leitung für den Strom. Dadurch wird die Lampe selbst fast stromlos und erlischt.

Eine andere Vorrichtung, welche dann in Wirksamkeit tritt, wenn der Strom zu schwach ist, um den Lichtbogen gehörig zu unterhalten, zeigt Fig. 408. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Elektromagnet, der in die Hauptleitung eingeschaltet ist. Der Anker des Elektromagnets wirkt auf einen beweglichen Arm, der einen Theil einer Nebenleitung zur Lampe bildet. So lange der in der Lampe circulirende Strom eine gewisse Stärke besitzt, ist der Anker des Elektromagnets im Stande, den beweglichen Arm anzu-

Fig. 408.



Ausschalter für Bogenlampen.

ziehen, wodurch die Nebenleitung unterbrochen bleibt und der ganze Strom durch die Lampe fliesst; sobald aber dieser unter ein gewisses Minimum herabsinkt, ist der Elektromagnet nicht mehr im Stande, jenen Arm festzuhalten. Der letztere fällt ab, schliesst die Nebenleitung, durch welche nun der Haupttheil des Stromes fliesst, und es erlischt daher die Lampe ganz. Wie aus der Fig. 408 zu ersehen ist, besitzt der Elektromagnet ausser den inneren Windungen in der Hauptleitung noch wenige dicke Windungen, welche

Digitized by Google

an die Nebenleitung angeschlossen sind. Durch diese doppelte Wicklung wird ein viel rascheres und sichereres Arbeiten des Elektromagnets erzielt.

Je mehr sich die Dynamomaschinen vervollkommnen und je einfacher und zuverlässiger die Lampen werden, um so mehr werden die Schutzapparate überflüssig werden; immerhin wird es stets Ausnahmen geben, wo ein sicherer Betrieb, der nicht immer überwacht werden kann, die Anwendung solcher Apparate verlangt.

166. Die Theorie der Canalisation der Elektricität. Die von einem Strome J in einem Leiter vom Widerstande R in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge C ist nach *Joule* proportional mit $J^2 R$ oder $E J$, wo E die elektromotorische Kraft bedeutet, welche den Strom J in dem Leiter vom Widerstand R erzeugt. Bei Einführung der sogenannten absoluten Maasse und wenn als Einheit der Wärmemenge diejenige genommen wird, welche der Arbeitseinheit äquivalent ist, nimmt das *Joule*'sche Gesetz nach *Helmholtz* folgende Gestalt an. (Vgl. *Kohlrausch*, Leitfaden der praktischen Physik.)

$$C = E J = J^2 R = \frac{E^2}{R}.$$

Bezeichnet daher ϱ den innern Widerstand einer Stromquelle, E die elektromotorische Kraft derselben und R den Widerstand der äusseren Leitung, so ist die in dem ganzen Stromkreise in der Zeiteinheit gebildete Wärmemenge, d. h. die gesammte geleistete elektrische Arbeit

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R}.$$

Wird die in der äusseren Leitung erzeugte Wärme als Nutzarbeit (N) betrachtet, so bildet die letztere nur einen Theil der gesammten Arbeit; diese verhält sich nach *Joule* zu jener wie $\varrho + R : R$. Also ergibt sich

$$N = \frac{E^2}{\varrho + R} \cdot \frac{R}{\varrho + R} = E^2 \frac{R}{(\varrho + R)^2}.$$

Digitized by Google

Besitzt daher die Stromquelle eine constante elektromotorische Kraft, so wird N für denjenigen Werth des R das Maximum erreichen, für welchen $\frac{R}{(\varrho + R)^2}$ ein Maximum ist. Dieses entspricht aber, wenn wir

$$\frac{R}{(\varrho + R)^2} = \frac{1}{2m}$$

setzen, dem Minimum des m. Es ist nun

$$R^2 + 2R(\varrho - m) + \varrho^2 = 0$$

$$R = m - \varrho \pm \sqrt{m(m - 2\varrho)};$$

hiernach wird R für jedes $m < 2\varrho$ imaginär; es ist daher 2ϱ das zulässige Minimum für m, und das bezügliche Maximum des R ist

$$\frac{R}{(\varrho + R)^2} = \frac{1}{4\varrho}$$

bezw.

$$\varrho = R,$$

d. h.: Unter der Annahme, dass die gesammte von der Batterie geleistete Arbeit in Wärme besteht, ist die von dem Strome geleistete Nutzarbeit in dem Falle ein Maximum, wo der Widerstand der äusseren Leitung dem der Batterie gleich ist.

In der Praxis kommt es nun gewöhnlich nicht darauf an, die grösste Nutzarbeit zu erhalten, sondern von einer gegebenen aufgewendeten Arbeit soll ein möglichst grosser Bruchtheil als Nutzarbeit zum Vorschein kommen, d. h. der Nutzeffect, das Verhältniss von Nutzarbeit zu Gesammtarbeit soll möglichst gross sein.

Der Ausdruck

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R}$$

erhält den grössten Werth bei $R = 0$, nimmt mit wachsendem R stetig ab und wird bei $R = \infty$ zu Null.

Andererseits ist der Ausdruck für den sogenannten Nutzeffect des Systems

Digitized by Google

$$G = \frac{N}{C} = \frac{R}{\varrho + R} = \frac{1}{\frac{\varrho}{R} + 1};$$

derselbe ist bei $R = 0$ auch gleich Null, wächst mit dem Werthe des R und erreicht den grössten Werth $= 1$ bei $R = \infty$.

Hat also der Widerstand der äusseren Leitung einen kleinern Werth, als derjenige ist, bei welchem das Maximum der Nutzarbeit erfolgt, so befindet man sich unter sehr ungünstigen Umständen: der Nutzeffect nimmt ab, die erzeugte Wärme C hingegen und mithin die verbrauchte Arbeit zu.

Ist jedoch der Widerstand R der äusseren Leitung grösser, als der dem Maximum der Nutzarbeit entsprechende Werth, so sind die Bedingungen bei weitem günstiger: der Nutzeffect nimmt zu, die verbrauchte Arbeit hingegen ab.

Diese Sätze ergeben sich besonders deutlich durch einen Vergleich der in Fig. 409 abgebildeten Curven, welche den einzelnen in den vorhin abgeleiteten Gleichungen[1]) entsprechen.

Die totale Arbeit ist

$$C = \frac{E^2}{\varrho + R};$$

Betrachtet man C als Function von R und entwirft eine Zeichnung, in der R die Abscissen x, und C die Ordinaten y bedeuten, so gibt der letztere Ausdruck eine gleichseitige Hyperbel, deren Asymptoten die x-Axe, sowie eine zur y-Axe im Abstande $00' = \varrho$ gezogene Parallele sind.

Ebenso gibt die Nutzarbeit

$$N = E^2 \cdot \frac{R}{(\varrho + R)^2};$$

als Function von R betrachtet die Gleichung einer Curve dritten Grades, welche durch den Anfangspunct geht und asymptotisch zur x-Axe und zur Linie $Y'O'Y''$ verläuft.

1) Niaudet, les machines dyn.-él.

Digitized by Google

Die Stromstärke

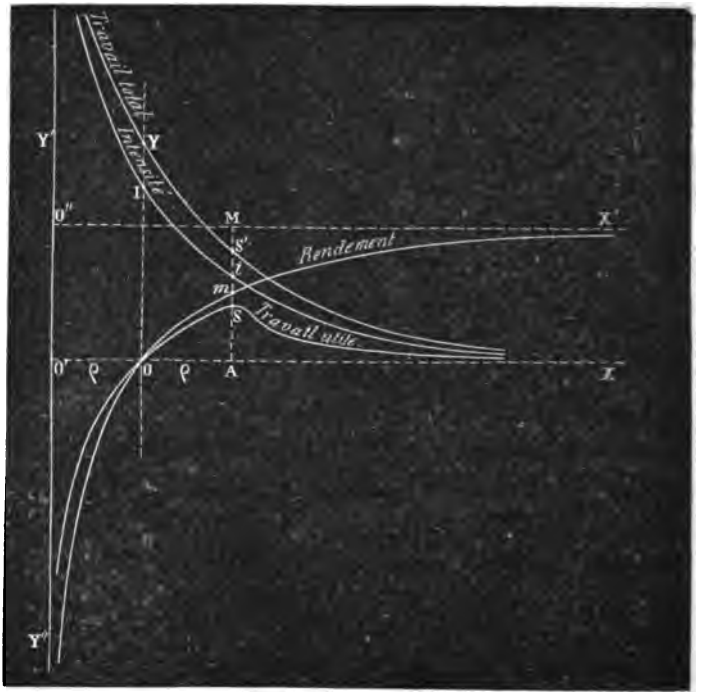
$$J = \frac{E}{\varrho + R};$$

gibt eine gleichseitige Hyperbel, deren Axen mit denjenigen der vorhin erwähnten zusammenfallen.

Der Nutzeffect

$$G = \frac{R}{\varrho + R}$$

Fig. 409.



endlich ist die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel, welche durch den Anfangspunct geht und deren Asymptoten eine zur x-Axe im Abstande $O'O'' = 1$ gezogene Parallele und die Linie $O'Y''$ sind.

Digitized by Google

Ist $R=\varrho$, so ist

$$AS=\tfrac{1}{2}AS'$$
$$Ai=\tfrac{1}{2}AJ$$
$$Am=\tfrac{1}{2},$$

d. h. im Falle des Maximums ist die Nutzarbeit die Hälfte der Gesammtarbeit, die Intensität um die Hälfte geringer, als wenn $R=0$ ist, und der Nutzeffect $=\frac{1}{2}$.

Je mehr R wächst, um so mehr nähert sich der Werth der Gesammtarbeit demjenigen der Nutzarbeit, die Intensität wird immer kleiner und der Werth des Nutzeffectes nähert sich seinem Maximum, der 1.

Die der Arbeit günstige Seite liegt rechts von dem Maximum der Nutzarbeit; hier nimmt der Nutzeffect zu, Intensität sowie Gesammtarbeit hingegen ab. Die andere Seite ist die ungünstige, da auf dieser der Nutzeffect kleiner wird, die Intensität und Gesammtarbeit hingegen wachsen.

Es ergibt sich also die praktische Regel, dass der äussere Widerstand wohl grösser, keineswegs aber kleiner als der innere Widerstand der Stromquelle sein soll.

167. Die Nutzarbeit. Im Gewöhnlichen setzt sich die äussere Leitung aus einem Leiter im engern Sinne und einem eingeschalteten Apparate zusammen; unter Nutzarbeit versteht man alsdann diejenige, welche in dem Apparate geleistet wird. Besteht auch diese lediglich in erzeugter Wärme, so tritt sie im Maximum auf, sobald der Widerstand des Apparates der Summe der Widerstände der Stromquelle (ϱ) und des Leiters (r) gleich ist. Dieses trifft zu bei der Incandescenz-Beleuchtung.

Die Lampen (etwa n) können nun entweder hintereinander oder parallel in den Stromkreis geschaltet werden; leistet daher jede Lampe den Widerstand l, so ist der von den n Lampen gebotene Widerstand je nach der Schaltung nl bezw. $\frac{l}{n}$.

Digitized by Google

Sind also die Lampen hintereinander geschaltet, so ist (§. 166)

$$N=\frac{E^2 nl}{(\varrho+r+nl)^2}$$

oder aber, wenn $\varrho+r$ im Vergleich zu nl sehr klein ist und vernachlässigt wird,

$$N=\frac{E^2 nl}{(nl)^2}=\frac{E^2}{nl}.$$

Sind die Lampen parallel geschaltet, so ist

$$N=\frac{E^2 \cdot \frac{l}{n}}{\left(\varrho+r+\frac{l}{n}\right)^2},$$

oder aber, wenn $\frac{l}{n}$ gegen $\varrho+r$ verschwindend klein ist

$$N=\frac{E^2 l}{n(\varrho+r)^2}.$$

In beiden Fällen steht also die gesammte in den Lampen erzeugte Wärme im umgekehrten Verhältnisse zur Anzahl der Lampen, wofern diese eine grosse ist, oder aber, da die Wärme auf n Lampen vertheilt ist, so steht die in jeder der n Lampen gebildete Wärme im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate ihrer Anzahl, mögen die Lampen hintereinander oder parallel geschaltet sein.

Es ist daher ein Irrthum, wenn man glaubt, in der Incandescenz ein Mittel zu besitzen, das elektrische Licht ins Unendliche theilen zu können. Auch sei bemerkt, dass das Licht durchaus nicht proportional ist zu der in der Lampe entwickelten Wärme; denn erstens weiss man, dass unterhalb einer gewissen Temperatur ein warmer Körper nicht leuchtet; zweitens geht aus den Arbeiten *Becquerel's* hervor, dass die leuchtende Intensität ausserordentlich schnell mit der Temperatur wächst, wenn letztere einen hinlänglich hohen Grad erreicht. (§. 141.)

Digitized by Google

Die vorstehenden Betrachtungen greifen auch Platz, wenn als Stromquelle eine magnet-elektrische Maschine genommen wird, da es ein Leichtes ist, die elektromotorische Kraft derselben constant zu erhalten. Die behandelten Probleme lauten alsdann:

1) Die Maschine ist gegeben, die äussere Leitung soll zweckentsprechend gewählt werden.
2) Die äussere Leitung ist gegeben, die Maschine soll danach so aptirt werden, dass sie zur bestimmten Verwendung möglichst geeignet ist.

Wir unterlassen, auf den zweiten Punct näher einzugehen, da derselbe nur den Constructeur interessirt, aus unseren bisherigen Betrachtungen aber leicht zu ergänzen ist, verweisen jedoch auf die bezüglichen Capitel des trefflichen Werkes von *Niaudet*, p. 80.

168. Die Leitung. Bei gegebener Länge der Leitung kann man den Widerstand derselben W gering machen, indem man den Querschnitt derselben q gross annimmt, und ein Material mit grosser Leitungsfähigkeit, etwa Kupfer, für dieselbe wählt. Da eine derartige Ausführung einer langen Leitung mit starken Kupferadern die Anlagekosten wesentlich erhöht, so drängt sich die Frage auf, ob es vortheilhafter sei, schwächere, billigere Leitungen zu benutzen, welche einen grossen Energieverlust nach sich ziehen, oder aber starke und theure Leitungen mit unbedeutendem Energieverlust. Um diese Frage zu entscheiden, muss man die jährlichen Unkosten, welche aus der Verzinsung des Anlagecapitals entstehen, mit dem Kostenaufwand vergleichen, welcher aus dem durch Leitungswiderstand entstehenden Energieverlust erwächst. Diese Rechnung wurde von *W. Thomson* ausgeführt.

Der Energieverlust in Pferdestärken in einer Leitung mit dem Widerstand W der Stromstärke J beträgt

$$A = \frac{J^2 . W}{C} = \frac{J^2 . l . s}{C . q},$$

Digitized by Google

wobei s den specifischen Leitungswiderstand des Materials, d. h. den Widerstand von 1 qmm Querschnitt und 1 m Länge bedeutet. Für die Längeneinheit ist dieser Energieverlust

$$a = \frac{s \cdot J^2}{C \cdot q}.$$

Nun gibt es im Jahre 31,5 Millionen Secunden, so dass, wenn die Leitung während des p. Theils dieser stattfindet, der jährliche Verlust ist

$$\frac{31{,}5 \cdot 10^6 \cdot p \cdot J^2 \cdot s}{C \cdot q}.$$

Bezeichnet man weiter mit P den Preis der Arbeitseinheit pro Jahr, so stellt der Verlust einen Kostenaufwand dar von

$$\frac{31{,}5 \cdot 10^6 \cdot p \cdot P \cdot J^2 \cdot s}{C \cdot q}.$$

Die jährliche Entwerthung des Leitungsmaterials wollen wir zu 5 Procent des Anlagecapitals annehmen, so dass bei einem Preise v pro Kubikmeter des Leitungsmaterials für 1 m Länge die Ausgabe sich herausstellt zu

$$\frac{v \cdot 1 \cdot q}{1000 \cdot 1000} \cdot \frac{5}{100} = \frac{v \cdot q \cdot 10^{-6}}{20}.$$

Die Gesammtkosten, welche sich als Summe beider Ausdrücke ergeben, werden hiernach

$$\frac{31{,}5 \cdot 10^6 \cdot p \cdot P \cdot J^2 \cdot s}{C \cdot q} + \frac{v \cdot 10^{-6}}{20} \cdot q.$$

Wir müssen den Querschnitt q der Leitung so bestimmen, dass dieser Verlust ein Minimum wird. Das tritt dann ein, wenn beide Glieder einander gleich werden, so dass man hat

$$\frac{31{,}5 \cdot 10^6 \cdot q \cdot P \cdot s}{C} \cdot \frac{J^2}{q} = \frac{v \cdot 10^{-6}}{20} \cdot q.$$

woraus

$$q = \sqrt{\frac{31{,}5 \cdot 10^{12} \cdot p \cdot P \cdot s \cdot 20}{v \cdot C}} \cdot J.$$

Digitized by Google

Es ändern sich nun nach den verschiedenen Verhältnissen der Werth der Arbeitseinheit so wie der Werth des Leitungsmaterials und man muss nun für jeden speciellen Fall den günstigsten Querschnitt q bestimmen, indem man die passenden Zahlen in die Formel einsetzt.

Digitized by Google

XIV. Abtheilung.

Die elektrische Beleuchtung.

169. Einzellichter oder getheiltes Licht. Es wurde bereits erwähnt, dass mit der Anzahl der in einen Stromkreis geschalteten Lampen die Lichtstärke einer jeden Lampe wechselt, wenn die Lichtmaschine in gleicher Weise zu arbeiten fortfährt. Dabei zeigt sich, dass unter sonst gleichen Bedingungen die Summe der Lichtintensitäten mehrerer von dem Strome gespeister Lampen nicht einmal die Intensität einer einzelnen, in denselben Stromkreis geschalteten Lampe (eines Einzel-Lichtes) erreicht. Dieses erklärt sich dadurch, dass eine jede Lampe, welches auch ihre Construction sein mag, einen bestimmten, in ihrer Einrichtung liegenden innern Widerstand hat, der zu dem Widerstande des Lichtbogens hinzukommt, und dass dieser eine elektromotorische Kraft (§. 94) entwickelt, welche der elektromotorischen Kraft der Lichtmaschine entgegenwirkt und gegen dieselbe in keinem Falle vernachlässigt werden darf.

Ein einfaches Beispiel möge dieses erläutern. Gesetzt, die Stärke eines Stromes sei S, wenn derselbe ein Einzellicht zu speisen hat und dieses den Gesammtwiderstand w leistet; da die in der Lampe durch den Strom erzeugte Wärme nach *Joule* $w S^2$ ist und näherungsweise als Maass

Digitized by Google

der Lichtstärke der Lampe gelten kann, so ist die letztere proportional $w\,S^2$ zu setzen. Werden aber in denselben Stromkreis n Lampen geschaltet, welche einzeln den Gesammtwiderstand w leisten, so ist nach dem *Ohm*'schen Gesetze die Stromstärke nur noch $= \frac{S}{n}$, die in einer einzelnen Lampe gebildete Wärme also $= w\left(\frac{S}{n}\right)^2$ und die in den n Lampen gebildete Wärme $= n \cdot w \cdot \left(\frac{S}{n}\right)^2 = w\,S^2 \cdot \frac{1}{n}$. Diese Grösse stellt dem Obigen gemäss die Stärke des getheilten Lichtes dar und zeigt also, dass die letztere nur den $n$ten Theil der Stärke des Einzel-Lichtes im vorliegenden Falle beträgt.

Soll die Stärke des getheilten Lichtes gleich der des Einzel-Lichtes werden, so muss der ursprünglich gegebene Strom (S) verstärkt werden; bezeichnen wir etwa mit x die hierzu erforderliche höhere Stromstärke, so muss

$$w\,x^2 \cdot \frac{1}{n} = w\,S^2, \text{ also } x = S\sqrt{n}$$

sein; 4, 9, 16... Lampen müssen daher durch einen 2-, 3-, 4-...mal stärkern Strom gespeist werden, wenn sie zusammen die Lichtstärke des Einzel-Lichtes erreichen sollen.

Doch kommt es bei den Anwendungen gar nicht darauf an, wie viel Licht überhaupt von den einzelnen Lampen geliefert wird, sondern die Frage ist die, auf welche Weise am meisten nutzbares Licht gewonnen wird. Wenn es darauf ankommt, auf einen einzigen Punct oder in einer bestimmten Richtung ein möglichst intensives Licht zu concentriren, so ist ohne Frage das Einzel-Licht am Platz, z. B. bei Leuchtthürmen u. s. w. In America gibt es eine Gesellschaft, die „Elgin Tubular Iron Tower Company", welche die Beleuchtung kleinerer Städte mit Hülfe möglichst intensiver Einzel-Lichter ausbeutet. Diese Lichter sind auf hohen, aus Eisenröhren construirten Thürmen aufge-

Digitized by Google

hängt, welche in Höhen bis zu 150m ausgeführt werden. Auf die Spitze dieser Thürme werden dann eine passende Anzahl *Brush*-Lampen bis zu 10 von je 2000 Kerzen Stärke aufgehängt und so die ganze Stadt oder ein Theil derselben von einem einzigen Puncte aus erleuchtet. Die Stadt Aurora ist mit sieben Thürmen von je 50m Höhe erleuchtet. Jeder Thurm trägt zwei bis drei *Brush*-Lampen. Aehnliche Beleuchtungen wurden in vielen anderen Städten America's durchgeführt. Der Effect dieser Beleuchtung soll der einer mittelhellen Mondnacht sein.

Für viele Zwecke verlangt man eine möglichst gleichmässige Bodenbeleuchtung. Das ist der wichtigste Fall, welcher bei Beleuchtung der grossen Locale, Bahnhöfe. Fabriken, Werkstätten u. s. w. eintrifft. Die Höhe, in welcher die Lampen gehängt werden können, ist begrenzt durch die Höhe des zu beleuchtenden Locales und daraus ergibt sich dann von selbst, wie intensiv man die einzelnen Lampen zu nehmen hat, um eine günstige Beleuchtung zu erzielen. Von verschiedener Seite wurde die Relation aufgesucht, welche besteht zwischen der Höhe der aufgehängten Lampe und der Ausdehnung der Fläche, welche durch diese Lampe noch ziemlich gleichmässig beleuchtet wird. Es wurde ziemlich übereinstimmend gefunden, dass eine in der Höhe h über dem Boden aufgehängte Lampe eine ziemlich homogene Bodenbeleuchtung liefere innerhalb eines Kreises, dessen Radius $r = 1{,}414 \times h$.[1]) Dieser Werth schwankt um einige Procente, je nach der Beschaffenheit des Lichtes und der Lampen.

Wenn nun die zu beleuchtende Fläche grösser ist, als es diesem Radius r entspricht, so muss man mehrere Lampen zur Beleuchtung verwenden. Man kann aber nun nicht

1) *Carl*, Zeitschrift f. a. El.-L., II, S. 383. — *Zetsche*, Elektrotechnische Zeitschrift, II, S. 104. — *Uppenborn*, Zeitschrift f. a. El.-L., III, S. 244.

Digitized by Google

nur die einzelnen Lampen nach der obigen Formel an einander reihen, man würde dann eine zu grosse Helligkeit erhalten, da die einzelnen Lampen auch in das Gebiet der nächstliegenden übergreifen. Man darf also schwächere Lampen wählen. Nach der Berechnung von *Uppenborn* reicht man mit solchen aus, welche bei einer kleineren Höhe $h_1 = 0{,}66\,h$ die verlangte Helligkeit geben. Diese Lampen werden dann in zu einander rechtwinkligen Reihen angeordnet. Die Richtung dieser Reihen hängt von dem speciellen Bedürfniss und von der Form des zu erleuchtenden Raumes ab und wird bei einem rechtwinkligen Raume im Allgemeinen die Diagonalen verfolgen. Vor allem wird man immer suchen, möglichst wenig Lampen zu verwenden und in der Theilung des Lichtes sich möglichst zu beschränken.

Zunächst sind die Ströme geringer Spannung, mit denen dieselben gespeist werden können, geradezu ungefährlich, während Ströme höherer Spannung mehr oder weniger eine aufmerksame Behandlung erfordern, auf dass keine Unglücksfälle sich ereignen; sodann wird durch die bedeutende Höhe, in welcher die Lampe hängt, der Lichtbogen unserem Auge ziemlich fern gerückt und daher der Gebrauch matter Glasglocken beseitigt, welche zwar das intensive Licht des Bogens unserm Auge erträglich machen, dabei aber eine Menge Lichtes absorbiren; auch ist die Farbe des Einzel-Lichtes eine bei weitem weissere, der des Sonnenlichtes entsprechendere, während das getheilte Licht mehr oder weniger ein bläuliches, mondscheinähnliches ist. Mit Recht konnte zur Zeit *Crompton* sagen: „Die Einzel-Lichter, welche von Strömen geringer Spannung gespeist werden, sind sehr schön und rein in Farbe, entweder ganz weiss oder schwach gelblich, wie Sonnenlicht. Das Licht ist kräftig und milde und durchdringt Nebel und dichte Atmosphäre leicht; die Farben erscheinen bei diesem Lichte gerade so wie bei dem Sonnenlichte. In der That wird der grösste Theil des Lichtes

Digitized by Google

von der glühenden sonnengleichen Oberfläche der oberen concaven Kohle gegeben und nur wenig von dem Bogen. So wie man die Spannung vermehrt und die Quantität vermindert, gewinnt der Strom die Fähigkeit, mehrere Lichter zu speisen; aber die Farbe des Lichtes bleibt nicht so gut wie vorher. Es wird weniger Licht von den glühenden Kohlenspitzen als dem Bogen hervorgebracht, welch letzterer häufig unangenehme violette, blaue und grüne Farbentöne hervorbringt. Sodann verbleibt der Bogen auch nicht immer an den beiden einander nächsten Puncten der Kohlen, sondern er geht von entfernteren Puncten der kegelförmigen Oberfläche der Kohlen aus. Deshalb ist die Lichtintensität auf verschiedenen Seiten häufig ungleich; auch ist dies der Grund des Zuckens und der Unbeständigkeit des Lichtes; mit zunehmender Spannung wachsen alle diese Mängel. Wenn man grosse Räume zu beleuchten hat, in welchen man die Lampen hoch aufhängen kann, und wenn man ein ruhiges Licht von schöner Färbung braucht, so sollte man stets niedrig gespannte Ströme und Einzel-Lichter gebrauchen."

Betrachten wir indessen die

170. Anwendung der elektrischen Beleuchtung genauer und beginnen wir mit dem Gebrauche der Einzel-Lichter. Diese, besonders starke Einzel-Lichter, sind in einigen Fällen geradezu unentbehrlich geworden, z. B. bei dem Lichte eines Leuchtthurmes, bei der Aufstellung von Lichtern auf Kriegsschiffen zur Beleuchtung der entfernten feindlichen Schiffe und Küsten, zum Signalisiren auf der See und zu den verschiedenen militärischen Operationen, insbesondere bei Recognoscirungen und Belagerungsarbeiten. In allen diesen Fällen handelt es sich darum, die von dem Lichtbogen nach allen Richtungen hin sich ausbreitenden Strahlen nach einer bestimmten Richtung hinzulenken und so nur einen begrenzten Theil des Raumes unter einem Winkel von weniger als 180° zu beleuchten. Es gibt verschiedene Systeme von Reflectoren,

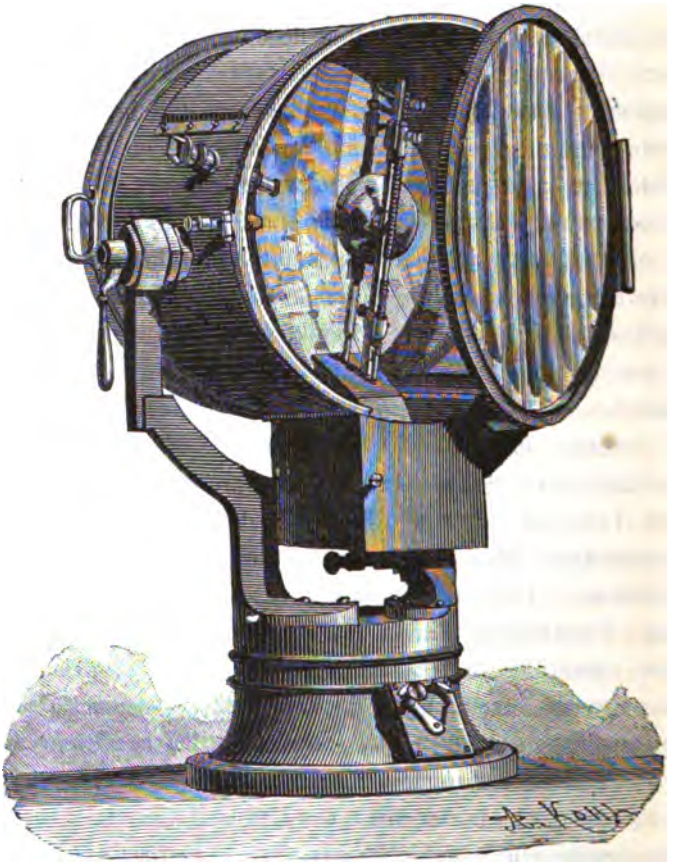
Digitized by Google

welche zu diesen Zwecken construirt sind; während in ihnen die hinteren Strahlen durch parabolische Spiegel nach vorne reflectirt werden und sich mit denjenigen Strahlen vereinigen, welche direct die erforderliche Richtung haben, werden die nach oben und unten und seitwärts von dieser Richtung sich ausbreitenden Strahlen durch geeignete Linsen- oder prismatisch geschliffene Glasgürtel aufgenommen und erhalten durch Brechung nach ihrem Austritte aus diesen Gläsern dieselbe Richtung, wie die übrigen Strahlen. Derartige Lichtcondensatoren geben eine bedeutende Verstärkung des Lichtes nach der einen Richtung hin und werden vielfach so construirt, dass sie von der Hand getragen werden oder auf einem Stative drehbar aufgestellt sind, um den aus ihnen hervordringenden Lichtcylinder nach allen Richtungen des Raumes oder doch nach derjenigen Richtung hinlenken zu können, in welcher der zu beleuchtende Gegenstand sich befindet. Bei den Versuchen der verschiedenen Projectoren in Chatham erwies sich der *Mangin*-Projector, dessen Abbildung wir in Fig. 410 geben, sowohl in Bezug auf seine Leistung als mit Rücksicht auf seine geringe Zerbrechlichkeit allen anderen versuchten Projectoren weit überlegen. Erinnern wir daher in Kürze an seine Vorzüge. Projectoren mit Linsen sind kostspielig und absorbiren immerhin viel Licht; parabolische Reflectoren sind ohne Zweifel vorzuziehen, doch ist die parabolische Form sehr schwer herzustellen und intact zu erhalten; leichter ist die Herstellung der sphärischen Form, welche, wenn sich der Lichtpunct genau in der Mitte des Radius der Kugel befindet, für's gewöhnliche ein hinlänglich dichtes Lichtbündel liefert. Die sphärische Aberration derartiger Projectoren ist dagegen zu gross, als dass sie in Fällen, wo concentrirte Lichtstrahlen auf weite Strecken gesandt werden sollen, anwendbar wären. Die gerügten Fehler vermeidet *Mangin* dadurch, dass er einen sphärischen Spiegel aus Glas

Digitized by Google

verfertigt, welchen zwei nicht parallele sphärische Flächen von verschiedenen Radien begrenzen, das Verhältniss der beiden Radien ist so berechnet, dass die an der Spiegelfläche reflectirten Lichtstrahlen streng parallel zurück-

Fig. 410.



Der Projector von Mangin.

geworfen werden. Dieses wird verständlich, sobald man beachtet, dass ein einzelner Lichtstrahl zweimal die Dicke des Spiegels passirt, bevor er seine Richtung erhält, — die

Digitized by Google

einzelnen Lichtstrahlen aber verschiedene Dicken des Spiegels zu durchdringen haben, je nach dem Winkel, den sie mit der Achse bilden.

Es liegt in den optischen Eigenschaften der Hohlspiegel und der Glaslinsen, dass ihre Wirkung, das Licht zu concentriren, um so vollständiger erreicht wird, je mehr sich die Lichtquelle auf einen Punct concentrirt. Damit ein Licht aus weiter Ferne gesehen werde, muss die Lampe, welche dasselbe erzeugt, nicht bloss ein äusserst intensives Licht geben, sondern dasselbe auch auf einen möglichst kleinen Umfang beschränken, und gerade diesen beiden Anforderungen entspricht der elektrische Flammenbogen in einer Regulatorlampe in hohem Grade. Das elektrische Licht ist daher für die Beleuchtung von Leuchtthürmen ganz besonders geeignet und findet zu diesem Zwecke an den französischen, englischen, russischen, österreichischen, schwedischen und ägyptischen Küsten vielfach Anwendung. Die Erfahrung hat gelehrt, dass das elektrische Licht des Leuchtthurmes von La Hève bei le Hâvre im Mittel um 8km weiter sichtbar ist, als bei der früheren Oelbeleuchtung, und dass bei nebeligem Wetter das elektrische Licht mehr als doppelt so weit sichtbar ist, als das Oellicht. Die grossen Vorzüge, welche dieses Licht vor dem Lichte der Oellampe hat, und die neueren Verbesserungen in der Construction der Lichtmaschinen führen denn auch thatsächlich immer mehr dahin, dass die grösseren Leuchtthürme mit elektrischem Licht gespeist werden.

Aehnliches gilt von der Anwendung dieses Lichtes zur Beleuchtung von Schiffen (vgl. u. a. Z. f. a. E. 1881, p. 277) und bei militärischen Operationen, da es mittelst desselben möglich ist, noch auf Entfernungen von 2 bis 6km Schiffe, Küsten, Häuser, Erdwerke u. s. w. zu beleuchten. Auf den Schiffen wird dadurch die Sicherheit der Reisenden erhöht; Zusammenstösse werden vermieden; die Einfahrten in die

Digitized by Google

Häfen erleichtert und die Arbeiten des Ein- und Ausladens auch zur Nachtzeit ermöglicht. Erwähnenswerth ist, dass bei den französischen Kriegsschiffen kein Regulator gebraucht wird, die Kohlenträger vielmehr ähnlich wie diejenigen der *Tchikoleff*'schen Lampe (§. 127) eingerichtet sind und durch ein einfaches Räderwerk mittelst der Hand gerichtet werden. Beachtet man, dass bei einem Regulator selten jede Aufsicht wegfällt, der Focus vielmehr sich vielfach ein wenig verschiebt und nur dadurch, dass man von Zeit zu Zeit an den Apparat klopft, an der richtigen Stelle erhalten wird, so konnte von militärischem Standpuncte aus nichts Besseres angeordnet werden, als dass die Aufmerksamkeit der Bedienung dadurch eine dauernde wurde, dass jeder feine Mechanismus beseitigt und die Regulirung durch die Hand eines Mannes bewirkt wurde. So kam auch die Commission in Chatham zu dem Schlusse, dass, wenn man für militärische Zwecke überhaupt automatische Lampen verwenden will, die *Serrin*-Lampe zu empfehlen sei, dass aber im Allgemeinen die geneigte Handlampe von *Sautter-Lemonnier* die günstigsten Resultate ergebe.

Für die militärischen Operationen haben *Siemens* sowohl wie *Gramme* und *Schuckert* die Lichtmaschine mit der Betriebswelle einer Locomobile zusammengebaut und dadurch das elektrische Licht mit dem zugehörigen Beleuchtungsapparate transportabel gemacht. Für militärische Signalzwecke baut *Gramme* eine sehr kleine Maschine, die, durch vier Mann in Bewegung gesetzt, ein Licht von ungefähr 50 Carcel-Brennern erzeugt. Sie hat flache Elektromagnete und steht auf einem Karren. Zu dem gleichen Zwecke eignet sich auch eine *Siemens*'sche magnet-elektrische Maschine, wenn sie von 4 Mann mittelst zweier Kurbeln und einer Zahnrad-Uebersetzung angetrieben wird.

Mit Einzel-Lichtern werden die elektrischen Beleuchtungswagen versehen, welche die zum Betriebe einer elektrischen

Digitized by Google

Flamme erforderliche Ausrüstung enthalten, damit solche zu jeder Zeit im Falle dringender nächtlicher Arbeit, z. B. bei Bahnunfällen, Truppentransporten, an eine beliebige Stelle der Bahnstrecke gebracht werden können, ohne dass vorher Installationsarbeiten erforderlich wären.[1])

Solch' mobiles elektrisches Licht eignet sich auch zur Tunnelbeleuchtung. In einem langen Tunnel ist von vornherein jede Beleuchtungsmethode auszuschliessen, welche der mit grossen Kosten in den Tunnel eingeführten Luft einen erheblichen Theil ihres Sauerstoffs entziehen würde; in ihm ist vielmehr eine besonders construirte Beleuchtungs-Locomotive empfehlenswerth, welche an der Anfangs- und End-Station des Tunnels comprimirte Luft in sich aufnimmt, um hierdurch einestheils ihre eigene Fortbewegung zu erhalten, anderntheils aber die treibende Kraft für die auf ihr befindliche dynamo-elektrische Maschine zu gewinnen, welch' letztere die elektrischen Ströme für die auf der Beleuchtungs-Locomotive feststehende und mit Reflectoren versehene Lampe erzeugt.[2])

Vortreffliche Dienste leistet ferner eine elektrische Lampe bei Taucher- und anderen Arbeiten unter Wasser, bei welchen kaum ein anderes Licht zur Anwendung kommen kann. Die Lampe wird zu diesem Zweck in einen Ballon von starkem Glas eingeschlossen, aus welchem die Luft ausgepumpt wird.

Einzel-Lichter eignen sich schliesslich vielfach zur Beleuchtung freier Arbeitsplätze und grösserer Arbeitsräume, z. B. einer Spinnerei, Weberei, eines Walzwerkes u. s. w. In dieser Beziehung liegen bereits zahlreiche Erfahrungen vor, die so günstig sind, dass die Zahl der von den verschiedenen Constructeuren gebauten Lichtmaschinen täglich zunimmt. Bei richtiger Aufstellung des Lichtes kann man in einer Spinnerei,

1) Vgl. *Dingler's* P. J., Bd. 232, p. 133, Bd. 233, p. 212. Z. f. a. E. 1879, p. 331, 1881, p. 222.

2) Vgl. Z. f. a. E. 1880, p. 347. 303. 1881, p. 223.

Digitized by Google

einer Buchdruckerei, einer Weberei u. s. w., wo eine grössere Helligkeit erforderlich ist, mit einem einzigen Lichte eine Fläche von 250qm, in einer Maschinenfabrik 500qm und auf einem offenen Arbeitsplatze 2000qm gut beleuchten. Dass man dabei den Glanz des Lichtes dämpfen und überhaupt dasselbe durch vorgestellte, matt geschliffene Glastafeln oder Glaskugeln zerstreuen muss, braucht wohl nicht erwähnt zu werden. Um starke Schatten zu vermeiden, und eine grössere Gleichmässigkeit in der Helligkeit herzustellen, stellt man zweckmässig in demselben Raume zwei Lampen auf, auch wenn dieses nicht durch die Grösse des Raumes geboten wäre. Bei allen Einrichtungen dieser Art ist in erster Linie darauf zu sehen, dass nicht ein grosser Theil des Lichtes durch Ausstrahlen nach aussen nutzlos verloren geht. Man kann oft genug sehen, wie in grossen industriellen Anlagen, welche nach oben und nach den Seiten mit grossen Glasdächern und Fenstern versehen sind, um das Tageslicht eindringen zu lassen, zur Nachtzeit die elektrischen Strahlen denselben Weg nach aussen nehmen und die benachbarten Wandflächen und die anstossenden Höfe sehr hell erleuchten. Alle diese Strahlen, die oft mehr als die Hälfte des gesammten Lichtes ausmachen, gehen für die beabsichtigte Beleuchtung des Fabrikraumes nutzlos verloren. Hier handelt es sich daher in erster Linie darum, alle von der elektrischen Lampe ausgehenden, insbesondere die nach oben gerichteten Strahlen durch geeignete Reflectoren in den Arbeitsräumen zusammenzuhalten und dieselben statt auf die Glasfenster auf die undurchsichtigen weissen Flächen, die Plafonds und die Mauern zu leiten, damit sie von diesen nach allen Richtungen zurückgeworfen werden und ein zerstreutes Licht erzeugen, welches trotz seiner grossen Helligkeit doch für das Auge angenehm ist.

Fontaine verbreitet sich in seiner oben angeführten Schrift ausführlich über die verschiedenen Installationsweisen

Digitized by Google

der elektrischen Lampen für die Zwecke der Beleuchtung von Fabriklocalen jeder Art[1]) und von offenen Arbeitsräumen, Hafenplätzen, Bahnhöfen u. s. w. Es geht hieraus hervor, dass diese Anwendung des elektrischen Lichtes bereits alle Stadien des Versuches durchlaufen hat, und dass gegenwärtig zahlreiche Erfahrungs-Resultate vorliegen, welche bei weiteren Einrichtungen dieser Art in jedem einzelnen Falle zu Grunde gelegt werden können.

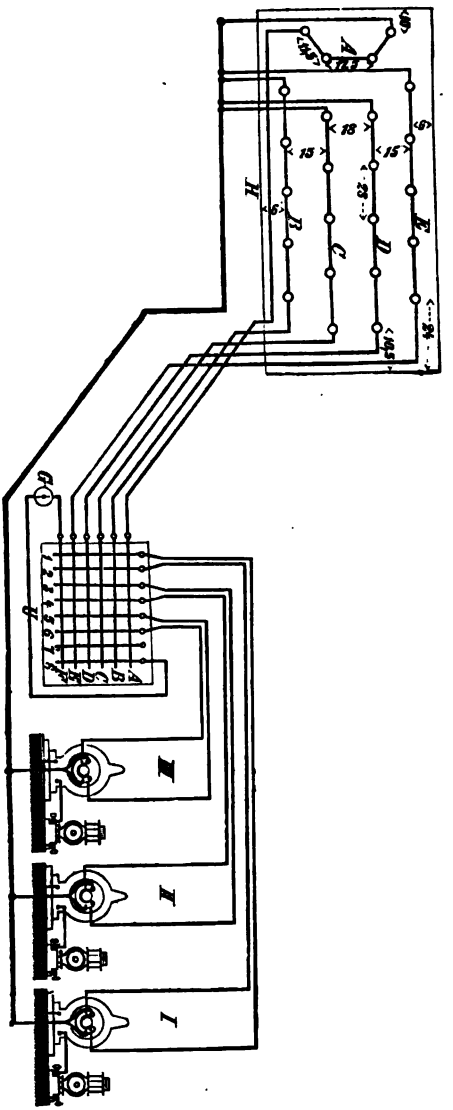
Doch hat sich bereits in Fällen, in denen mehrere Lampen gebraucht werden, das getheilte Licht mit Recht Eingang verschafft, ja seitdem die Differential-Lampen erfunden, hat die Beleuchtung mittelst getheilten Lichtes gewaltig an Ausbreitung gewonnen. Da dieses bis zu einem gewissen Grade von beträchtlicher Stärke gewonnen werden kann, so fragt sich nur, wie weit man in der Theilung des elektrischen Lichtes gehen soll; diese Frage muss natürlich in jedem besondern Falle mit Berücksichtigung der Bauart des zu beleuchtenden Raumes, des Zweckes, dem der Raum dient, sowie der entstehenden Unkosten beantwortet werden.[2]) Neben vielen industriellen Etablissements und Privatgebäuden, in welchen das elektrische Licht eingeführt wurde, waren es zuvörderst die Bahnverwaltungen, welche die Vortheile, die diese Beleuchtungsart nach Einführung der Differential-Lampe bot, für sich nutzbar machten und in ausgedehnterem Maasse namentlich zur Erleuchtung der Empfangshallen schritten. Unter den zahlreichen, nach dem Vortritte des neuen Münchener Bahnhofes von der Firma *Siemens & Halske* ausgeführten Anlagen bietet diejenige, welche in der imposanten Empfangshalle des neuen Anhalter Bahnhofes in Berlin eingerichtet wurde und seit dem Juni des Jahres 1881 im Betriebe ist, ein besonderes Interesse, und es möge dieselbe

1) Vgl. *Dingler's* P. J., Bd. 233, p. 304.
2) Vgl. E. Z. 1880, p. 80 und ff.

Digitized by Google

hier als ein Beispiel einer solchen Einrichtung vorgeführt werden.

Fig. 411.



Installation einer grössern Siemens-Halske'schen Bogenlicht-Lampenbeleuchtung.

Die ein Hektar, beinahe vier preussische Morgen, Bodenfläche überdeckende Halle, von deren riesigen Abmessungen der Beschauer Mangels eines geeigneten Maassstabes kaum sich einen rechten Begriff machen kann (die Spannweite des Daches beträgt 60, die Länge 168 und die Höhe 35 m), ist mit 24 Differential-Lampen von je 350 Normalkerzen Lichtstärke, welche in etwa 8 m Höhe vom Boden angebracht sind, erleuchtet, und es sind die Perrons in allen Theilen so hell erleuchtet, dass man auch an den dunkelsten Stellen feinste Druckschrift gut lesen kann. Man hatte zuvörderst auch Versuche angestellt, die Halle mit weniger

Digitized by Google

entsprechend höher hängenden Lampen von bedeutenderer Lichtstärke zu erleuchten, fand aber, dass bei weiter geführter Theilung des Lichtes eine erheblich günstigere Wirkung erzielt wurde.

Die Einrichtung ist, wie in Fig. 411 schematisch dargestellt, derart getroffen, dass die 24 elektrischen Lichter in fünf Gruppen über die Halle *H*, welche in der Figur durch das Rechteck oben angedeutet ist, vertheilt sind. Jede dieser Gruppen kann sowohl einzeln wie auch in Verbindung mit den anderen in Thätigkeit gesetzt werden. Ueber dem vorderen, querliegenden Zugangsperron hängt die Gruppe *A* aus vier, ein Trapez bildenden Lichtern; sodann sind der Halle entlang vier Parallelreihen *B*, *C*, *D* und *E* von je fünf Lampen angeordnet, welche die Ankunfts- und Abfahrtsperrons erleuchten. Während erstere Gruppe stets leuchtet, wird eine oder werden mehrere der letzteren vier nach Bedürfniss angezündet.

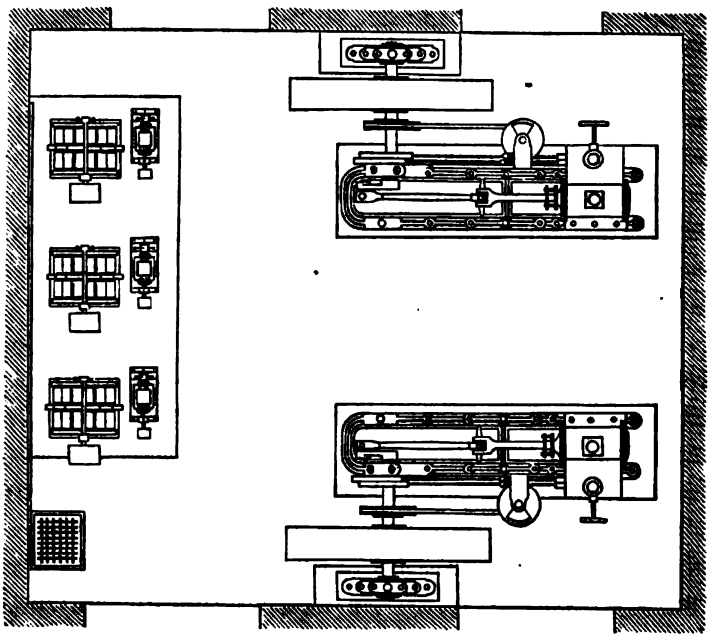
Zur Stromerzeugung dienen drei Paare von Dynamo-Maschinen I, II und III, welche in dem unweit der Halle gelegenen Maschinenhause aufgestellt sind. Jedes derselben besteht aus einer kleineren primären, dynamo-elektrischen Maschine, welche einen gleichgerichteten Strom erzeugt, der in der secundären, grösseren Maschine kräftige Elektromagnete erregt.[1]) Zwischen diesen Elektromagneten der secundären Maschine rotirt ein Ring mit Drahtspulen ohne Eisenkern, in welchen hierbei Wechselströme entstehen, die, zu den Lampen geführt, dort das Licht erzeugen. Jede dieser Maschinen ist dazu eingerichtet, zwei getrennte Stromkreise, deren jeder fünf Lampen enthält, unabhängig von einander zu speisen. Durch das Einsetzen von Stöpseln in den angebrachten General-Umschalter *U*, an dessen eine Schienenreihe die aus der Halle kommenden Leitungen

1) Vgl. Fig. 183, p. 319.

Digitized by Google

geführt sind, während die kreuzende Reihe mit den nach den Maschinen geleiteten Drähten verbunden ist, ist man in der Lage, eine beliebige Verbindung zwischen jedem Stromkreise einer Maschine und jeder Lampengruppe herzustellen. Die Leitungen sind oberirdisch geführt und bestehen aus kräftigen Kupferdrähten, welche auf Porcellanglocken isolirt sind. Zur Rückleitung ist eine gemeinsame

Fig. 412.



Grundriss der Maschinen-Anlage zur Beleuchtung des Anhalter Bahnhofs in Berlin.

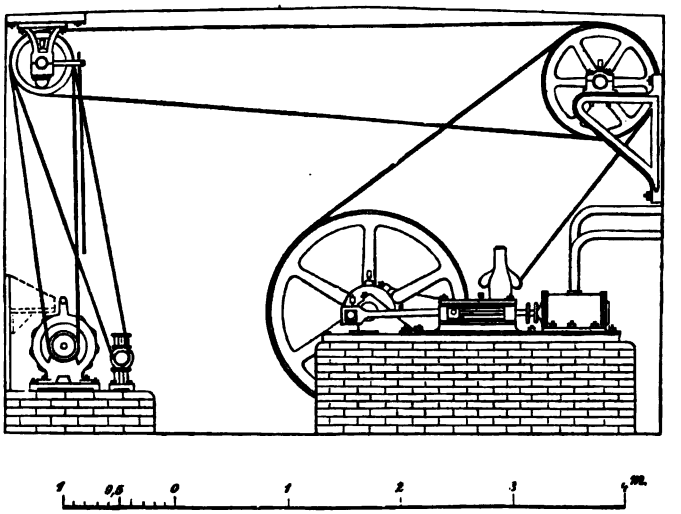
Erdleitung, welche in einen vorhandenen unterirdischen Canal versenkt wurde, benutzt.

Obwohl die Differential-Lampen sich selbstverständlich auch durch continuirliche Ströme betreiben lassen, so wurde doch für die vorliegende Anlage, in Anbetracht gewisser guter Eigenschaften, welche die *Siemens & Halske*'schen

Digitized by Google

Wechselstrom-Maschinen besitzen, der Betrieb durch Wechselströme vorgezogen. Als solche Eigenschaften sind hervorzuheben: der Wegfall des Commutators, die Unempfindlichkeit gegen Schwankungen im äussern Widerstande, das Vorhandensein mehrerer von einander unabhängiger Stromkreise, endlich ihre Dauerhaftigkeit und der ökonomische Betrieb. Beim Ansehen des Lichtes sind die einzelnen Wechsel

Fig. 413.



Querschnitt der Maschinen-Anlage zur Beleuchtung des Anhalter Bahnhofes in Berlin.

des Stromes absolut nicht bemerkbar, da dieselben so ausserordentlich schnell (120 Mal in der Secunde) auf einander folgen.

Zum Betriebe der elektrischen Maschinen dienen zwei von *A. Borsig* angefertigte liegende Hochdruck-Dampfmaschinen von je 15 Pferdekräften. Fig. 412 und 413 stellen die Anordnung der Maschinen-Anlage im Grundrisse und im Querschnitte dar.

Die Einrichtung ist derart getroffen, dass jedes der drei

Digitized by Google

elektrischen Maschinenpaare von einer oder der anderen der Betriebsmaschinen in Thätigkeit gesetzt werden kann. Mittelst Frictionsscheiben-Kuppelung kann jede derselben mit einer Zwischen-Transmissionswelle verbunden werden, welche ihrerseits drei Vorgelege treibt, an welche die Maschinenpaare angeschlossen sind, und die einzeln ausgerückt werden können. Jedes Maschinenpaar wird von einer gemeinsamen Riemenscheibe, welche an einem dieser Vorgelege sitzt, mittelst zweier auf derselben laufenden Riemen getrieben.

Die gewählte Aufstellung der Maschinen war durch den vorhandenen ziemlich engen Raum bedingt. Bei den neueren Anlagen ziehen es *Siemens & Halske* vor, jedes elektrische Maschinenpaar durch eine besondere Dampfmaschine zu betreiben. Die Möglichkeit, jeden Stromerzeuger mit jeder Dampfmaschine beliebig verkuppeln zu können, ist dabei aufgegeben, aber die theuren Transmissions-Anlagen und die vielen Riemen, welche die meiste Beaufsichtigung erfordern, sind in Wegfall gebracht.

Die elektrischen Lampen sind am Gitterwerke der Dachconstruction aufgehängt. Bei der bedeutenden Höhe der Halle würde es unzweckmässig gewesen sein, die Vorrichtung zum Herablassen der Lampen, welches beim Einsetzen neuer Kohlenstäbe nach je acht Stunden verflossener Brennzeit erfolgen muss, in der Höhe anzubringen; dieselbe wurde daher unmittelbar über die Lampen gelegt. In Fig. 414 ist diese Einrichtung abgebildet. Von dem Dache herab hängt ein Drahtseil, welches die Vorrichtung trägt. Eine einfache, auf der Galerie in der Höhe angebrachte Winde ermöglicht für den Fall, wenn Reparaturen nothwendig sind, das Drahtseil herabzulassen. Die durch ein Gegengewicht ausgewogene Lampe ist dagegen mittelst eines Hakens, zum Zweck des Einsetzens neuer Kohlenstäbe, bis in erreichbare Höhe über dem Boden herabziehbar. Die Leitungsdrähte sind an die am obern festen Teller sitzenden

Digitized by Google

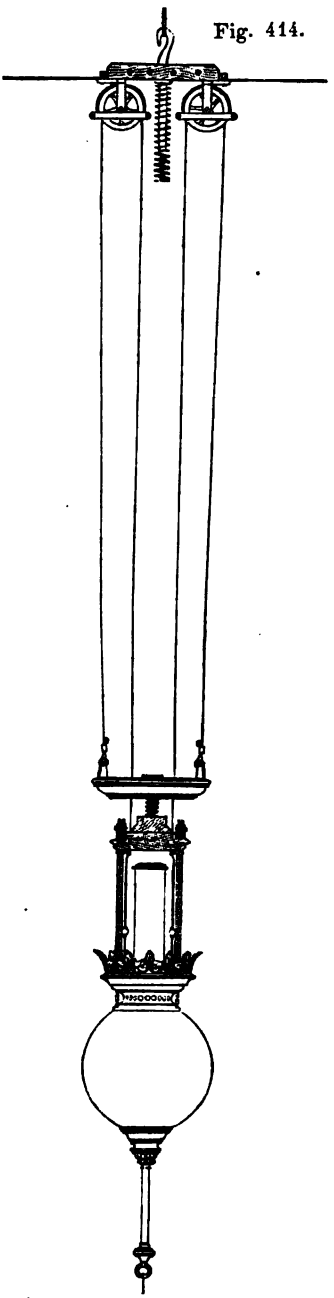
Klemmen angeschlossen, und die über die Rollen geführten Kupferdrahtseile, an welchen die Lampe selbst hängt, dienen als Zuleitungen zu dieser, so dass dieselbe auch während des Brennens beliebig gehoben und gesenkt werden kann.

In Fig. 415 (s. f. S.) ist der General-Umschalter (*U*, Fig. 411) im Längsschnitte dargestellt. Der mit einem isolirten Griffe versehene Schlüssel *S* wird auf einen der über den Kreuzungspuncten in den Querschienen *b* steckenden Stifte *c* durch kräftigen Druck aufgesetzt und so weit rechts herumgedreht, dass er unter den Einschnitt einer der Säulen *a* fasst, welche auf den Längsschienen befestigt sind. Die im Schlüssel vorhandene Spiralfeder übt dabei einen starken Druck auf die Contactflächen aus.

Seither sind ähnliche Anlagen von *Siemens & Halske* aller Orten ausgeführt worden und zählen nach hunderten.

Von grosser Tragweite ist auch die Verwendung des

Fig. 414.

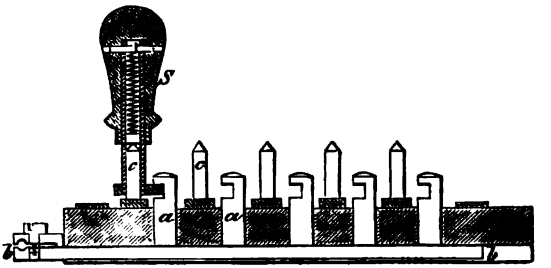


Aufhängung der Lampen im Anhalter Bahnhofe in Berlin.

Digitized by Google

Volta'schen Bogenlichtes in Bergwerken. Da nämlich das elektrische Licht zum Verbrennungsprocesse keinen Sauerstoff verlangt, so kann es in eine Laterne hermetisch eingeschlossen werden, eine Eigenschaft, welche vor allem für Gruben werthvoll ist, die durch schlagende Wetter gefährdet werden, indem durch ihre Benutzung eine Entzündung der Grubengase nicht zu befürchten ist. Da man ausserdem mit elektrischem Lichte die grössten Räume in den Bergwerken beleuchten und die Decke bis in ihre kleinsten Einzelheiten

Fig. 415.



General-Umschalter im Längsschnitte.

prüfen kann, um ihre Haltbarkeit aufs genaueste zu bestimmen, so lassen sich auch die Unglücksfälle vermeiden, welche so oft aus der Ablösung von Kohlenstücken von der Decke entstehen. Mit Erfolg wird denn auch das System *Brush* in den pensylvanischen Anthracitgruben zur Beleuchtung der Stollengänge und Abbauräume verwandt; und seit längerer Zeit sind in St. Etienne 7 *Gramme*'sche Maschinen thätig, um mit hermetisch verschlossenen elektrischen Lampen die Arbeiter gegen Explosionen schlagender Wetter zu schützen. Auf die von *Swan* construirte Lampe für Bergwerke, welche auf Seite 674 besprochen ist, wird hier nochmals verwiesen.

Die elektrische Beleuchtung mittelst des *Volta*'schen Lichtbogens, welche nur in grossen Räumen passende Ver-

Digitized by Google

wendung findet, wird durch diejenige mittelst Glühlichtes ergänzt, da die letztere zur Beleuchtung kleinerer Räume vorzüglich geeignet erscheint. Unter der grossen Anzahl der Incandescenz-Lampen haben diejenigen von *Edison*, *Swan* und *Maxim* bereits eine grosse praktische Bedeutung erlangt und werden zur Beleuchtung ganzer Stadtviertel verwendet, so namentlich in den grossartigen Anlagen, die in New-York und anderen Städten der Vereinigten Staaten bereits thatsächlich bestehen.

Die ganze Einrichtung der Beleuchtung mittelst Incandescenz ist mit einer Gasleitung zu vergleichen; statt des Gasometers dient die Lichtmaschine in Verbindung mit secundären Elementen; statt des Hauptrohres denke man sich zwei isolirte Drähte von entsprechender Dicke parallel neben einander fortgeführt, von diesen beiden dicken Drähten gehen Abzweigungen dünneren Drahtes aus, von diesen wiederum Abzweigungen noch dünneren Drahtes u. s. w.; eine jede Abzweigung besteht aus zwei parallel geleiteten Drähten, welche in ihrem Ursprunge aber an je einen Draht der nächst dickeren Leitung anschliessen. In solche Leitungen werden nun die einzelnen Lampen, mit Vorrichtungen versehen, wie sie in dem §. 153 beschrieben wurden, parallel neben einander geschaltet.

Eine grosse unterirdische Röhrenanlage, in welcher die Zuführungen für den elektrischen Strom sich befinden, verbindet in New-York die einzelnen Häuser mit einer Centralstation. In letzterer sind zwölf Dampfmaschinen von je 150 Pferdekräften aufgestellt, die zur Inbetriebsetzung von Dynamo-Maschinen dienen. Jede derselben vermag 2000 bis 2500 Lampen von je acht Kerzenstärke zu speisen. Die Vertheilung des Stromes in die einzelnen Häuser erfolgt von den die Strassen durchlaufenden Hauptsträngen aus. (Vgl. §. 160.) Die Abzweigungen bilden auf diese Weise in jedem Hause gewissermaassen die Pole des Lichterzeugers,

Digitized by Google

zu welchen die verschiedenen Drähte der in einem Hause befindlichen Lampen führen, so dass die Einrichtung eines jeden Hauses unabhängig von derjenigen eines andern ist. Für etwaige eintretende Störungen ist eine Reserve von Zuführungen vorgesehen. Wünscht ein Hausbesitzer eine elektrische Lichteinrichtung, so bestellt er dies einfach bei der Electric Company, welche ihm innerhalb der vorhandenen Gasröhren den elektrischen Strom in sein Haus leitet und da, wo er es wünscht, die Lampen aufstellt; er zahlt keinerlei Anlagekosten, sondern lediglich eine Abgabe für die fortlaufende Benutzung der Lampen. Wie beim Gas die Menge des im Laufe des Monats consumirten Gases an einem Gasmesser abgelesen wird, so dient zur Festsetzung der bei Benutzung von elektrischem Lichte verwandten Menge des elektrischen Stromes ein geeignet construirter Apparat. (Vgl. §. 22.)

In neuerer Zeit, seit es *Edison* und *Swan* gelungen ist, gute, dauerhafte Glühlampen herzustellen, erfreut sich die Glühlichtbeleuchtung einer immer weiteren Verbreitung, hauptsächlich in Webereien, Spinnereien und ähnlichen Fabrik-Anlagen. Die einzelnen Locale solcher Anlagen sind selten hoch genug, um dem Bogenlicht die günstige Ausdehnung zu gestatten. Ausserdem ist ein absolut ruhiges und zuverlässiges Licht erforderlich, was bis jetzt nur von den Glühlampen geliefert wird, zudem kann man die Lampen ohne Gefahr in die Webstühle zur Aufsuchung von zerrissenen Fäden bringen etc. In grossen Städten fängt man auch an, das Vorbild von New-York nachzuahmen und die elektrische Glühlampe zur Beleuchtung der Wohnräume zu verwenden. Wenn das Glühlicht gegenwärtig vielleicht noch etwas theurer als Gas zu stehen kommt, so steht ihm doch eine weite Verbreitung offen, namentlich auch an den Orten, welche bisher das Gas vermöge seiner schlechten Eigenschaften fern gehalten haben.

Digitized by Google

Auch für die Theaterbeleuchtung wird das Glühlicht in neuerer Zeit mit Vorliebe verwendet. Mit Recht hofft man dadurch Katastrophen wie den Brand des Ringtheaters und des Theaters in Nizza unmöglich zu machen. Zugleich wird aber auch den Besuchern des Theaters der Kunstgenuss weder durch eine übermässige, drückende Hitze noch durch eine von vielen Gasflammen verdorbene Atmosphäre verleidet werden.

In New-York werden die Lampen *Edison's* und *Maxim's* wegen der absoluten Ruhe des Lichtes und der grossen Reinlichkeit desselben sehr geschätzt und bereits vielfach verwendet. Eine noch grössere Verbreitung werden diese Lampen in bürgerlichen Wohnungen und kleineren Räumen finden, wenn die secundären Elemente (vgl. Abth. XVII) weiter vervollkommnet werden, gute Reservoire der Elektricität bilden, käuflich zu beziehen bezw. zu miethen sind und alsdann die Beleuchtung mittelst Glühlichtes auch dann gestattet, wenn ein Anschluss an grössere Leitungen nicht zu ermöglichen ist.

Schliesslich erfreut sich die Anwendung des Glühlichtes zur Beleuchtung gewisser Körpertheile in Verbindung mit mehr oder weniger einfachen instrumentalen Hülfsmitteln einer steigenden Beachtung und Anwendung in der praktischen Medicin; wie die zu untersuchenden Organe durch Einführung des elektrischen Glühlichtes beleuchtet werden, wollen wir nicht erörtern; doch sei hingewiesen auf die bezüglichen interessanten Vorträge von *Stein* und *Weise*, welche in den Sitzungen des Elektrotechnischen Vereins in Berlin gehalten wurden.[1])

Wenn die elektrische Beleuchtung in den letzten Jahren

---

1) E. Z. I, p. 123. *Dr. Stein:* Das elektrische Glühlicht zu ärztlich-diagnostischen Zwecken. — ib. II, p. 159. *Dr. Weise:* Ueber Elektro-Endoskopie der menschlichen Körperhöhlen.

Digitized by Google

eine weite Verbreitung gefunden hat, so ist dieses leicht zu begreifen, wenn nur

171. **Die Vorzüge des elektrischen Lichtes** hinreichend gewürdigt werden. Der elektrische Lichtbogen übertrifft durch seine reiche Lichtfülle und seinen Glanz alle übrigen Lichtquellen, die wir besitzen, ja, in den grossen Lichtmaschinen kommt der letztere dem Glanze der Sonne nahe, wenn er denselben nicht schon übertrifft. (S. 114.) Aber dieser Reichthum an Strahlen ist nicht der einzige Vorzug des elektrischen Lichtes; der blosse Anblick einer Gasflamme zur Tageszeit lässt dieselbe röthlich-gelb erscheinen, und dasselbe zeigt sich, wenn man eine Gasflamme mit dem Lichte einer elektrischen Lampe oder einer *Jablochkoff*'schen Kerze vergleicht, welches fast rein weiss, höchstens mit einer leichten Nuance ins Rosa-Violett erscheint.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das weisse Licht der Sonne, das Kalklicht, das Magnesiumlicht, das Licht des Leuchtgases, des Petroleums und des Oels nicht einfach, sondern aus zahllosen farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, die wir von einander trennen und zu einem vielfarbigen Fächer oder Bande (Spectrum) ausbreiten können, wenn wir das von jenen Quellen ausgehende Licht durch ein Glasprisma hindurchleiten. Das Auge ist nicht im Stande, aus der Färbung einer Flamme ohne Weiteres auf die Bestandtheile ihres Lichtes zu schliessen, wohl aber zeigt uns das Spectrum der Flamme sofort, aus welchen farbigen Strahlen ihr Licht zusammengesetzt ist. Die genannten sechs Lichtarten erscheinen uns mehr oder weniger weiss, und doch weichen ihre Spectra bedeutend von einander ab. Zwar enthalten sie alle die sämmtlichen Hauptspectralfarben Roth, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Indigo, Violett und alle dazwischen liegenden Farbenabstufungen, aber jede Farbe ist in sehr verschiedenen Graden darin enthalten.

Das reine, unveränderte Licht der Sonne nennen wir

Digitized by Google

weiss, und nur diejenigen Lichtmischungen erscheinen uns ebenfalls weiss, in denen die einzelnen farbigen Strahlen in demselben Verhältnisse vorkommen, wie in dem Lichte der Sonne.

Das Licht der Gas-, der Oel- und der Kerzenflamme ist reich an rothen, orangefarbenen und gelben Strahlen, aber es ist arm an grünen, noch ärmer an blauen Strahlen und das Violett fehlt darin fast ganz; desshalb ist dieses Licht auch nicht rein weiss, wie das Sonnen- oder das Tageslicht, und die genannten Flammen sind röthlich-gelb gefärbt.

Das elektrische Licht ist weit vollständiger an Farben; das von den glühenden Kohlen ausgestrahlte Licht ist rein weiss und enthält alle Farben in demselben Verhältnisse, wie sie im Sonnenspectrum vorkommen; es wirkt daher auch wie das Sonnenlicht und kann als zerstreutes Licht das Tageslicht in jeder Beziehung ersetzen. Das Licht des Bogens zwischen den Kohlenspitzen ist etwas anders zusammengesetzt; es ist arm an rothen, dagegen reich an blauen Strahlen und hat sogar gegenüber dem Sonnenlichte einen merkbaren Ueberschuss an Violett. Eben dieses Hervortreten des Blau und des Violett in dem Lichtbogen gibt der Gesammtheit des elektrischen Lichtes einen schwachen Stich ins Rosaviolett, der in dem Maasse mehr verschwindet, als man die Kohlenspitzen einander näher bringt und den Bogen kleiner macht.

Die gefärbten Stoffe erscheinen nur dann in ihrer vollen, reinen Farbe, wenn sie von dem weissen Lichte beleuchtet werden; der Stoff nimmt dann aus der Gesammtheit aller auf ihn fallenden Farben diejenigen heraus, welche mit seiner Farbe übereinstimmen, und reflectirt sie in unser Auge, während er die übrigen Farben absorbirt. Wenn dagegen in dem auffallenden Lichte diejenigen Farben ganz oder theilweise fehlen, welche dem Reflexionsvermögen des gefärbten Stoffes entsprechen, so sehen wir ihn auch nicht in seiner natürlichen Farbe; entweder absorbirt er alle in dem

Digitized by Google

auffallenden Lichte vorhandenen Farben und er erscheint uns schwarz, oder aber es fehlt in den reflectirten Strahlen ein Theil derjenigen, welche er reflectiren würde, wenn er sie mit auffallendem weissem Lichte erhalten hätte. In letzterm Falle erscheint uns der Stoff in einer anderen Farbe, als unter Einwirkung des weissen Tageslichtes. Wir sagten, dass das Licht einer Gasflamme reich an rothen, aber arm an blauen Strahlen sei. Wenn daher ein blau gefärbter Stoff von dem Lichte einer Gasflamme beleuchtet wird, so reflectirt er weniger Blau, als wenn das Tageslicht ihn beleuchtet; seine Farbe wird dann nicht bloss matt und stumpf, sondern hat auch wegen des nunmehrigen Ueberwiegens des Gelb oft einen Stich ins Grünliche.

Wollen wir daher die Farbstoffe oder die mit ihnen gefärbten Gewebe in ihren natürlichen Farben sehen, so müssen wir sie mit weissem Lichte beleuchten, und dieser Umstand gibt der elektrischen Beleuchtung in sehr vielen Fällen einen grossen Vorzug vor der Beleuchtung mit Gaslicht. In den grossen Magazinen für Kleiderstoffe, in denen alles aufgeboten wird, um dieselben in dem Glanze und der Reinheit ihrer Farbe erscheinen zu lassen, in vielen Fabriken (Zucker-, Salpeter-, Bleiweiss- u. s. w. Fabriken), in denen ein weisses Material erzeugt wird; in Färbereien, Farbstofffabriken, Teppichwebereien u. s. w. ist daher die Beleuchtung mit elektrischem Lichte von grossem Vortheil.

Dieser Vortheil wird noch dadurch erhöht, dass das elektrische Licht nicht auf Kosten des Verbrauches an Sauerstoff der Luft erzeugt wird und nicht wie das Gaslicht die Luft des Raumes, in welchem es leuchtet, verdirbt. In den Gasflammen wird das Licht durch die chemische Verbindung erzeugt, welche die Bestandtheile des Leuchtgases mit dem Sauerstoffe der umgebenden Luft eingehen; es wird dadurch nicht bloss der Luft, welche wir athmen, ihr Hauptbestandtheil an Sauerstoff entzogen, sondern dieselbe wird auch

Digitized by Google

durch die sich bildende, der Gesundheit nachtheilige Kohlensäure verunreinigt. Der elektrische Lichtbogen verändert die Luft in keiner Weise, und dieses ist ein neuer Grund, warum die elektrische Beleuchtung sich ganz besonders für solche Räume (Tunnels, Theater, Concertsäle, grosse Magazine u. s. w.) empfiehlt, welche von vielen Menschen besucht werden und in denen man die verlangte grosse Lichtfülle nur durch eine grosse Zahl starker Gasflammen erzeugen kann.[1])

Nehmen wir zu einem Vergleiche mit der Gasbeleuchtung eine gleiche Lichtstärke der Gasflammen mit 6 elektrischen Lampen an, so würden dieselben durch die Verbrennung ihrer Kohlenstäbe nicht mehr wie 2—3 Cubikfuss Kohlensäure erzeugen, während es berechnet worden ist, dass die gleiche Lichtmenge, mit Gas erzielt, ca. 1500 Cubikfuss Kohlensäure entwickeln würde. Um den nöthigen Sauerstoff herbeizuführen und die Temperatur auf einem erträglichen Puncte zu erhalten, müssten in dem Falle ca. 25000 Cubikfuss frische Luft per Minute in den geschlossenen Raum hineinströmen.

Die genannte chemische Verbindung, welche beim Brennen des Gases Statt findet, hat aber noch einen andern Nachtheil; sie erzeugt nicht bloss das gewünschte Licht, sondern zugleich auch Wärme, ja selbst in grösseren Räumen bei einer grösseren Anzahl von Gasflammen und mangelhafter Ventilation nicht selten eine unangenehme, drückende Hitze.[2])

---

1) Vgl. E. Z. 1881, p. 219.

2) Seit zwei Monaten — schreibt die Wiener „Neue Freie Presse" in ihrer Nummer vom 19. April 1880 — wird der Setzersaal unserer Druckerei mit elektrischem Lichte beleuchtet, welches sich so vollständig bewährt, dass unsere Typographen es fortan als ein Unglück betrachten würden, wenn sie diese Beleuchtungsart künftig entbehren sollten. Durch acht elektrische Differential-Lampen (von *Siemens & Halske*), welche von einer einzigen Wechselstrom-Maschine durch eine Leitung genährt werden, wird volle Tageshelle in dem rechtwinkelig

Digitized by Google

Ganz anders wirkt der elektrische Flammenbogen, obgleich seine Temperatur die höchste ist, die wir auf Erden erzeugen können und alle uns bekannten Stoffe in demselben schmelzen oder in Dampf aufgehen. Man schätzt die Temperatur des Flammenbogens auf mindestens 2500 Grad, während die der Gas- oder Oelflammen kaum 800 oder 900 Grad beträgt, und doch zeigt die Erfahrung, dass die Gasflammen den Raum weit stärker erwärmen, als es bei bedeutend stärkerer Lichtentwickelung durch den elektrischen Flammenbogen geschieht. Der Grund hierzu liegt einestheils darin, dass das elektrische Licht im Verhältnisse zu der Ueberfülle an Licht nicht reich ist an Wärmestrahlen, wie denn das Strahlungs-Vermögen einer Wärmequelle überhaupt nicht durch die Temperaturhöhe allein bedingt ist, anderntheils darin, dass bei den Gasflammen sowohl die heissen Verbrennungsproducte, als auch eine grosse Quantität stark erhitzter Luft mit grosser Geschwindigkeit sich in beständiger aufsteigender Bewegung befindet, die bei mangelnder Ventilation bald den ganzen Raum erfüllt, während bei dem elektrischen Flammenbogen die Verbrennungsproducte ganz fehlen und auch die umgebende Luft nur sehr wenig in Bewegung gesetzt wird.

C. W. Siemens stellt einen sehr interessanten Vergleich der erwärmenden Wirkung des Gases und der des elektrischen Lichtes mit folgenden Worten an: „Die folgende ein-

gelegenen Saale verbreitet, welcher bisher mit 80 Gasflammen beleuchtet wurde. Die hellere Beleuchtung ist aber nicht der Hauptgewinn, welchen die Setzer von der neuen Einrichtung schöpfen — die vorzüglichste Annehmlichkeit ist die gleichmässige, angenehme Temperatur, die jetzt in dem geräumigen Saale herrscht und an Stelle der oft unerträglichen und gesundheitsschädlichen Hitze getreten ist, welche bis vor Kurzem durch die grosse Zahl der zur Beleuchtung erforderlichen Gasflammen verbreitet ward. Noch ein Umstand mag hier Erwähnung finden, welcher dem elektrischen Lichte den Vorzug einräumen dürfte, und zwar ist dieses die fast absolute Feuergefahrlosigkeit, welche hierbei dadurch erzielt wird, dass zur Entzündung der Lampen keinerlei Zündstoff nöthig ist.

Digitized by Google

fache Calculation, welche auf ausgeführten Versuchen basirt ist, wird den relativen Heizeffect der beiden in geschlossenen Räumen aufgestellten Lichtquellen zeigen. Um ein elektrisches Licht von 4000 Normalkerzen zu erzeugen, braucht man einen Strom von 38,42 *Ampère*, welcher gegen 130 Wärme-Einheiten pro Minute hervorbringt. Um dieselbe Lichtmenge durch Gas zu erzielen, sind 200 *Argand*-Brenner à 16 Cubikfuss erforderlich, welche 15 000 Wärme-Einheiten repräsentiren. Hinzuzufügen ist noch einige Wärme, welche in dem elektrischen Flammenbogen durch die Verbrennung von 6,3 Grains Kohlen-Elektroden erzeugt wird. Die totale von dem elektrischen Lichte erzeugte Wärmemenge beträgt daher $130 + 12{,}5 = 142{,}5$ Wärme-Einheiten pro Minute oder fast 1 % der Wärme, welche von derselben durch Gas erzeugten Lichtmenge entwickelt wird.

Der grosse Reichthum des elektrischen Lichtes an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen macht dasselbe für photographische Arbeiten besonders geeignet. Wir erwähnten schon bei der Beschreibung der *Wilde*'schen Maschine (S. 110), dass die umfangreichen photographischen Ateliers von *Woodbury* und von *Saxon & Cie.* in Manchester sich des elektrischen Lichtes bedienten, um mittelst desselben auch zur Nachtzeit und bei trübem Wetter das Druckverfahren zu beschleunigen. Gegenwärtig sind die dynamo-elektrischen Lichtmaschinen bei den Photographen schon sehr zahlreich in Anwendung; sie gestatten, unabhängig von den Witterungsverhältnissen und den Tagesstunden, zu jeder Zeit photographische Aufnahmen zu machen, und sie sind im Stande, bei dem sogenannten Vergrösserungsverfahren das Licht der Sonne zu ersetzen.

Die grosse Menge der blauen und chemischen Strahlen im elektrischen Lichte, von denen sein Werth für die Photographie abhängt, liess auch erwarten, dass das elektrische Licht das Wachsthum der Pflanzen fördere. Um dieses fest-

Digitized by Google

zustellen, beleuchtete *William Siemens*[1]) ein Treibhaus mit kräftigen elektrischen Lampen und fand, dass selbst bei ungünstigen Verhältnissen, wo das Treibhaus von aussen beleuchtet wurde und die mit Feuchtigkeit stark bedeckten Glasscheiben die Wirkung des Lichtes auf die Pflanzen bedeutend abschwächten, das elektrische Licht noch stark genug sei, Chlorophyll und verwandte Körper in den Pflanzen zu bilden. Bessere Resultate wurden jedoch erzielt, wenn das Treibhaus von innen in angemessener Weise beleuchtet wurde.

Die hierauf bezüglichen Resultate fasst *Siemens* wie folgt zusammen:

1) „Dass elektrisches Licht die Bildung von Chlorophyll in den Blättern der Pflanzen und die Förderung des Wachsthums bewirkt;

2) dass ein elektrisches Licht von 1400 Kerzenstärken, in eine Entfernung von 2m von wachsenden Pflanzen gebracht, sich in der Wirkung als der des durchschnittlichen Tageslichtes gleichkommend erweist, dass aber eine höhere Wirkung mit kräftigeren Lichtern erreicht werden könnte;

3) dass die Kohlensäure und die Stickstoff-Verbindungen, welche im elektrischen Lichtbogen in sehr kleinen Quantitäten erzeugt werden, einen schädlichen Einfluss auf Pflanzen, welche in dem nämlichen Raume mit demselben eingeschlossen sind, nicht äussern;

4) dass die Pflanzen keine Ruhezeit während der 24 Stunden eines Tages zu bedürfen scheinen, sondern dass vermehrtes und kräftigeres Gedeihen eintritt, wenn dieselben während des Tages dem Sonnen- und während der Nacht dem elektrischen Lichte ausgesetzt werden;

5) dass die strahlende Wärme starker elektrischer Lichtbogen dazu verwendet werden kann, um dem Einfluss des Nachtfrostes entgegen zu wirken und wahrscheinlich das Ansetzen und Reifen der Früchte in freier Luft fördern wird;

6) dass die Pflanzen unter dem Einflusse des elektrischen Lichtes, ohne zusammenzufallen, erhöhte Treibhauswärme ertragen können, ein Umstand, der dem künstlichen Treiben derselben durch elektrisches Licht günstig ist;

7) dass die Kosten der Elektro-Horticultur hauptsächlich von dem Preise der mechanischen Kraft abhängen und sehr gering sind, wenn natürliche Kraftquellen, wie Wasserfälle, dienstbar gemacht werden können."

1) Z. f. a. E. 1880. p. 135. E. Z. 1880, p. 128. Ueber den Einfluss des elektrischen Lichtes auf das Wachsthum der Pflanzen und über einige dabei in Betracht kommende physikalische Sätze.

Digitized by Google

Die Schlüsse *Siemens'* wurden bestätigt durch die Beobachtungen *Schübeler's* (Nature 1880, 29. Jan.) über die Wirkung des ununterbrochnen Sonnenlichts auf Pflanzen in arktischen Regionen. Demnach sind die Pflanzen nicht nur befähigt, ohne Unterbrechung zu wachsen, sondern entwickeln auch unter dem Einflusse eines continuirlichen Lichtes prächtigere Blumen und grössere, aromatischere Früchte, als unter dem Einflusse von abwechselnder Wirkung von Licht und Finsterniss, während die Zuckerbildung hauptsächlich von der Wärme abhängt. Somit ist der Anwendung des elektrischen Lichtes wiederum ein neues Gebiet eröffnet.

Ein Weiteres ergibt sich aus den interessanten Untersuchungen, welche Professor *Cohn* in Breslau über die Wirkung des elektrischen Lichtes auf das menschliche Auge anstellte[1]) und welche bewiesen, dass die elektrischen Lichtstrahlen eine vier- bis sechsmal grössere Erkennbarkeit von farbigen Signalen als Tages- resp. Gaslicht darbieten; es unterliegt also keinem Zweifel, dass die elektrische Beleuchtung auch im Bereiche des Eisenbahn-, überhaupt des Signalwesens eine sich immer mehr steigernde Anwendung finden wird. Die Sicherheit des reisenden Publicums wird durch sie erhöht und die eventuellen Verluste der Bahnverwaltungen werden vermindert.

Auch ist constatirt, dass unter günstigen Umständen mit Hülfe des elektrischen Lichtes eine optische Correspondenz selbst auf die Entfernung von 300km bewerkstelligt werden kann, wonach dasselbe der optischen Telegraphie, welche eben jetzt viel von sich reden macht, von Nutzen sein dürfte.

Wenn schon die vorhin geschilderten Vorzüge des elektrischen Lichtes demselben eine grosse Verbreitung hätten schaffen müssen, so war es vor allem der bedeutsame Vorzug

1) Vgl. E. Z. 1881, p. 219.

Digitized by Google

einer empfehlenden Oekonomie, welcher die Verbreitung des elektrischen Lichtes begünstigte und die Concurrenz desselben mit dem Gaslicht ermöglichte.

Diese Behauptung mag aus den folgenden Erörterungen erhellen, welche der Leser mit Hülfe der angegebenen Literatur leicht ergänzen kann.[1])

172. Kosten des elektrischen Lichtes. Wir haben gefunden (§. 99), dass das elektrische Licht, welches von einer Lichtmaschine erzeugt und von einem Flammenbogen oder einer *Jablochkoff*'schen Kerze ausgestrahlt wird, auf Kosten derjenigen mechanischen Arbeit entsteht, welche die Betriebsmaschine verbraucht, um die Lichtmaschine in Thätigkeit zu versetzen. Man kann aber dasselbe Licht auch durch galvanische Batterien erzeugen, und es fragt sich zunächst, welches von beiden Verfahren am billigsten ist, der Aufwand an mechanischer Arbeit in einer Maschine oder der Verbrauch von Zink und Säuren in einer Batterie.

Die ersteren Arbeitsleistungen erzeugen wir in einer Dampfmaschine durch die Verbrennung von Kohle, den Strom in einer Batterie durch Verbrennung (Oxydirung etc.) von Zink in Schwefelsäure oder in ähnlicher Art. Nun erzeugt nach *Silbermann* und *Favre* die Verbrennung von 1 g Kohle in Sauerstoff 8 Wärme-Einheiten, dagegen die Auflösung von 1 g Zink in Schwefelsäure nur 0,55 Wärme-Einheiten. Zur Erzeugung einer gleichen Wärmemenge gebraucht man also bei dem letzten Verfahren mehr als 14 g Zink, wo 1 g Kohle hinreicht. Das Zink kostet aber etwa 15mal so viel als Kohle, mithin kostet, wenn man den Verbrauch an Säure gar nicht in Rechnung zieht, eine Wärme-Einheit durch

1) Vgl. die ausführlichen Erörterungen in der Z. f. a. E. 1879, p. 22; 1880, p. 84, 108, 125, 197, 292; in *Dingler's* P. J. Bd. 237, p. 169, und in *Fontaine*, Die elektrische Beleuchtung, p. 224 u. f., sowie die bezüglichen Artikel in *R. von Wagner's* Jahresbericht über die Leistungen der chemischen Technologie.

Digitized by Google

Auflösung von Zink reichlich 210mal so viel, als durch Verbrennung von Kohle. Die mechanische Arbeit aber in der Dampfmaschine wie der galvanische Strom in der Batterie kommen beide zum Vorschein durch die Umsetzung der Wärme, und daher ist es weit billiger, den galvanischen Strom zu erzeugen vermittelst der mechanischen Arbeit einer Dampfmaschine, welche sich in einer magnet- oder dynamoelektrischen Maschine stets in Elektricität und Magnetismus umsetzt, als durch Auflösen von Zink in den Säuren einer galvanischen Batterie.

In ähnlicher Art gestaltet sich die Rechnung, wenn man zum Betriebe der Lichtmaschine einen Gas- oder Petroleum-Motor oder eine Heissluftmaschine anwendet. Im Allgemeinen lässt sich also sagen, dass eine mechanische Arbeit sich durch den Aufwand von Kohle billiger erzeugen lässt, als durch die in den Batterien erzeugte Elektricität, und wenn es daher entschieden ungünstig ist, die kostspielige Batterie-Elektricität zur Erzeugung von mechanischer Arbeitsleistung, etwa behufs Ersetzung der Dampfmaschine, zu verwenden, so ist es dagegen durchaus vortheilhaft, die mechanische Arbeit zur Erzeugung der theuren Elektricität zu verwenden.

A. Nach *Edm. Becquerel* erhielt man mit 60 *Bunsen*'schen Elementen von 20cm Höhe während drei Stunden Anfangs ein Licht gleich 75 und gegen Ende ein solches von 30 Carcel-Brennern bei einer mittleren Ausgabe von fr. 2,50 per Stunde; unter Einrechnung des Verbrauches an Quecksilber und Säure war jedoch der Gesammtverbrauch in der Batterie zu fr. 3 per Stunde anzunehmen.

Dieses Resultat wurde nach *Fontaine* durch directe Beobachtungen bestätigt, die im Jahre 1857 in Lyon zu dem Zwecke angestellt wurden, um die Rue impériale (jetzt Rue de Lyon) zu beleuchten. Die Lampe nach dem System *Lacassagne & Thiers* wurde durch 60 *Bunsen*'sche Elemente während 100 Stunden gespeist; die Kosten stellten sich wie folgt:

Digitized by Google

Bezeichnung der Materialien.	Verbrauch in 100 Stunden.	Einzelpreis.	Gesammtkosten. Frcs.	Kosten per Stunde. Frcs.	Bemerkungen.
Zink	72,00 kg	Frcs. 104 per 100 kg	74,95	0,75	Frcs. 80 per 100 kg
Schwefelsäure .	154,00 „	„ 24 „ 100 „	36,95	0,37	„ 12 „ 100 „
Salpetersäure .	247,00 „	„ 70 „ 100 „	173,25	1,73	„ 56 „ 100 „
Quecksilber . .	9,50 „	„ 550 „ 100 „	49,75	0,50	„ 650 „ 100 „
GereinigteKohlen	6,61 m.	„ 3 „ m.	19,85	0,20	„ 2,5 „ m.

Unter Berücksichtigung der angegebenen Preise der Materialien erhält man als Kosten der mittleren Lichtstärke von 50 Carcel-Brennern ebenfalls 3 fr. per Stunde, einen Werth, den man wohl überhaupt als das Minimum der Kosten des elektrischen Lichtes von 50 Carcel-Brennern betrachten darf, wenn man zu seiner Erzeugung sich einer galvanischen Batterie bedient.

Anders stellt sich die Sache, wenn das Licht auf mechanischem Wege erzeugt wird. Die Frage, wie theuer hier 100 Carcel-Brenner zu stehen kommen, beantwortet sich im Allgemeinen nach §. 170 dadurch, dass man sagt, zu ihrer Herstellung sei eine Pferdekraft erforderlich und eine Pferdekraft koste so und so viel. In Wirklichkeit aber muss dann noch Rücksicht genommen werden auf die Kosten der Maschinen, die Verzinsung und Amortisation aller mit der Anlage verbundenen Auslagen und auf die Unterhaltung, Bedienung, Ueberwachung u. s. w., hauptsächlich aber auf den Umstand, ob zum Betriebe der elektrischen Lichtmaschine ein besonderer Motor beschafft werden muss, oder ob die nöthige Betriebskraft von einem bereits vorhandenen Motor entnommen werden kann. Es liegen gegenwärtig schon mehrere Reihen von solchen der Erfahrung entnommenen Kostenberechnungen vor, welche ziemlich alle Fälle

Digitized by Google

umfassen, die bei der praktischen Anwendung der elektrischen Beleuchtung vorkommen können; es kommt aber auch hier, wie bei allen Rentabilitäts-Berechnungen, häufig auf eine geschickte Gruppirung der Zahlen an, um das Resultat in einem mehr oder weniger günstigen Lichte erscheinen zu lassen, wie denn die Gastechniker die Kosten des elektrischen Lichtes in der Regel zu hoch, die Elektriker dagegen zu niedrig anzugeben pflegen.

B. *Reynaud* hat die Data veröffentlicht, welche er bei der Erzeugung des elektrischen Lichtes auf Leuchtthürmen erhielt, und *Le Roux* gruppirt dieselben in seiner Weise folgendermaassen (Soc. d'enc. t. XIV, p. 776):

a. Kosten der ersten Einrichtung:

Zwei magnet-elektrische Maschinen mit 4 Scheiben (§. 28)	fr. 16 000
Zwei Dampfmaschinen mit Zubehör	„ 6 000
Zwei Regulatorlampen und Aufstellung	„ 3 000
Linsen-Apparat, Laternen u. s. w.	„ 3 000
Summa	fr. 28 000

b. Kosten per Stunde

(unter der Annahme von 4000 Stunden Beleuchtung per Jahr):

Zinsen und Amortisation des Anlage-Capitals	fr. 0,70
10 kg Kohlen für die Dampfmaschine, à fr. 40 per Tonne	„ 0,40
Zwei Heizer à fr. 2800 per Jahr, macht per Stunde	„ 0,70
Zwei Aufseher à „ 2000 „ „ „ „ „	„ 0,50
Kohlenstäbe, 16 cm per Stunde incl. Abfall, à fr. 2,25 per Meter	„ 0,36
Schmieren, Unterhaltung u. s. w.	„ 0,13
Summa	fr. 2,79

Da die mittlere Lichtstärke des zum Horizonte gehenden Lichtes, also ausserhalb der katadioptrischen Apparate, 3500 Carcel-Brenner betrug, so stellen sich die Kosten des Lichtes von 1 Carcel-Brenner auf dem Wege zum Horizonte auf

$$\text{fr. } \frac{2{,}79}{3500} = \text{cts. } 0{,}079.$$

Digitized by Google

Ein Vergleich mit den Kosten der Oelbeleuchtung ergibt:

Leuchtthurm.	Kosten für 1 Stunde. Frcs.	Lichtstärke zum Horizonte. Bec-Carc.	Kosten der Einheit des zum Horizonte gehenden Lichtes. Cts.	Lichtstärke der Lampe. Bec-Carc.	Kosten der Einheit des Lichtes in der Lampe. Cts.
I. Classe:					
Mit Oel-Licht .	3,70	630	0,58	23	16
Mit elektrischem Lichte . . .	2,79	3500	0,079	123	2,2
			0,58 : 0,079 = 7,3		16 : 2,2 = 7,2

Hiernach sind die täglichen Kosten eines Leuchtthurmes I. Classe bei elektrischem Lichte kleiner als bei Oelbeleuchtung, und zwar im Verhältnisse von 3 : 4, während die Lichtmengen sowohl in der Lampe als auf dem Wege zum Horizonte recht bemerkbar sich verhalten wie 5 : 1. Die Einheit des Lichtes kostet also im Mittel bei der elektrischen Beleuchtung 7mal so wenig als bei Anwendung von Oel-Licht.

Da bei den Leuchtthürmen die Sicherheit des Dienstes die Hauptsache ist, und jede Unterbrechung des Lichtes selbst auf wenige Augenblicke strenge vermieden werden muss, so müssen alle zur Beleuchtung dienenden Apparate, Dampfmaschinen, Lichtmaschinen, Lampen u. s. w., doppelt vorhanden sein; ebenso müssen zweimal so viel Mannschaften zur Bedienung angestellt werden, als es unter anderen Umständen erforderlich wäre. Bei den industriellen Anlagen fällt diese Rücksicht weg und die Kosten der elektrischen Beleuchtung reduciren sich dann auf die Hälfte und selbst auf ein Drittel. Wo bereits zu anderen Zwecken eine Dampfmaschine vorhanden ist, stellen sich diese Unkosten noch niedriger, doch ist in allen Fällen die erste Bedingung einer ökonomischen Anwendung des elektrischen Lichtes, dass dasselbe täglich mehrere, etwa 10 Stunden lang unterhalten werde.

Digitized by Google

Die nachstehenden Tabellen enthalten die Kosten eines Lichtes von 125 Carcel-Brennern für 4 verschiedene Fälle (das Jahr zu 360 Arbeitstagen gerechnet).

1) Im ungünstigsten Falle.

(Die Dampfmaschine, welche die magnet-elektrische Maschine treibt, wird nicht anderweitig verwendet und erfordert also einen besondern Heizer.)

Für einen Dienst von zehn Stunden täglich.

10 % Amortisation von fr. 12 000 Anlage-Capital, per Tag	fr.	3,35
100 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„	4,00
Heizerlohn	„	5,00
Kohlenstäbe	„	3,60
Schmieren u. s. w.	„	1,30
Tägliche Ausgabe	fr.	17,25

Für einen Dienst von fünf Stunden täglich.

10 % Amortisation des Anlage-Capitals von fr. 12 000 per Tag	fr.	3,35
50 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„	2,00
Heizerlohn	„	5,00
Kohlenstäbe	„	1,80
Schmieren u. s. w.	„	0,70
Tägliche Ausgabe	fr.	12,85

2) Im günstigsten Falle.

(Die Betriebskraft wird einem hinreichend starken Motor entnommen, der schon für andere Zwecke vorhanden ist.)

Für einen Dienst von zehn Stunden täglich.

10 % Amortisation von fr. 9000 per Tag	fr.	2,50
40 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„	1,60
Kohlenstäbe	„	3,60
Schmieren u. s. w.	„	0,70
Tägliche Ausgabe	fr.	8,40

Für einen Dienst von fünf Stunden täglich.

10 % Amortisation von fr. 9000 per Tag	fr.	2,50
20 kg Kohlen, à fr. 40 per Tonne	„	0,80
Kohlenstäbe	„	1,80
Schmieren u. s. w.	„	0,40
Tägliche Ausgabe	fr.	5,50

C. Eine andere Reihe von Daten über die Betriebskosten bei der elektrischen Beleuchtung hat *Fontaine* für

Digitized by Google

die Anwendung der *Gramme*'schen dynamo-elektrischen Maschinen mitgetheilt, wobei zuerst angenommen wird, dass sich ein Motor vorfindet, der hinreichend stark ist, um durch das Anhängen von ein paar Lichtmaschinen nicht wesentlich beeinflusst zu werden.

Mit Verpackung, Transport und den Kosten der Aufstellung kostet ein completer Apparat, bestehend aus der dynamo-elektrischen Maschine, einer Regulatorlampe und den Leitungsdrähten, in Frankreich und den angrenzenden Ländern höchstens fr. 2500. Die Kohlenstäbchen kosten fr. 2 per Meter und ihre Abnutzung beträgt incl. der Abfälle 8 cm per Stunde.

Bei einer Betriebszeit von 100 Tagen im Jahre à 5 Stunden täglich und bei 4 Apparaten in derselben Fabrikanlage sind die jährlichen Ausgaben bei Benutzung einer Dampfmaschine:

4000 kg Kohlen, à fr. 35 per Tonne	fr. 140
160 m Kohlenstäbe à fr. 2	„ 320
Unterhaltung der Apparate, à fr. 0,50 per St..	„ 250
10 % Amortisation von fr. 10 000	„ 1100
Summa...	fr. 1810

Bei Benutzung einer Wasserkraft reduciren sich diese Ausgaben um fr. 140; bei einer Arbeitszeit von 4000 Stunden im Jahre werden die Ausgaben natürlich geringer.

Die Kosten von 1 Carcel-Brenner betragen hiernach per Stunde bei einer Maschine von 150 Brennern:

bei	500	Stunden	Betrieb	mit Dampfkraft...	fr. 0,0070
„	500	„	„	„ Wasserkraft ..	„ 0,0066
„	4000	„	„	„ Dampfkraft...	„ 0,0023
„	4000	„	„	„ Wasserkraft ..	„ 0,0018

Mit der neuen Maschine *Gramme* (Modell 1877) und mit *Gaudoin*'schen Kohlen reducirt sich der Preis der Lichteinheit per Stunde auf 40 %; dieselbe kostet dann

Digitized by Google

bei 500 Stunden per Jahr mit Dampfkraft.. fr. 0,0042
„ 500 „ „ „ „ Wasserkraft . „ 0,0040
„ 4000 „ „ „ „ Dampfkraft.. „ 0,0016
„ 4000 „ „ „ „ Wasserkraft . „ 0,0011

Diese in der Praxis gewonnenen Zahlen sind eher zu hoch als zu niedrig gegriffen, doch beziehen sie sich sämmtlich auf die Fälle, in denen nicht ein besonderer Motor zum Betriebe der Lichtmaschine angeschafft zu werden braucht.

D. Die Kostenberechnung, welche ein früherer Vertreter der Firma *Siemens & Halske* in Berlin bei Anwendung der *Siemens*'schen dynamo-elektrischen Lichtmaschinen aufgestellt hat, ist folgende:

Unter der Annahme, dass ein grosser Raum von ca. 2000qm zu beleuchten sei, werden vier Lichtmaschinen mit vier Lampen erforderlich sein.

Es kosten vier kleine dynamo-elektrische Maschinen nebst Lampen und Aufstellung ca..... ℳ 6 000
Ist keine Betriebskraft vorhanden und nimmt man dazu einen Gasmotor von 8 Pferdekräften „ 4 600

Anlagekosten... ℳ 10 600

Die vier Lichtmaschinen geben eine Lichtstärke von ca. 8000 Normalkerzen oder ca. 660 gut brennenden Gasflammen. Bei einer täglichen Brennzeit von durchschnittlich 4 Stunden, also einer jährlichen von 1500, würden zu rechnen sein

15 % Zinsen und Amortisation per Stunde Brennzeit ℳ 1,10
für Kosten der Betriebskraft „ „ „ „ 1,00
Verbrauch an Kohlenstäben für vier Lampen ..... „ „ „ „ 0,80
für sonstige Nebenkosten..... „ „ „ „ 0,50

Kosten des elektr. Lichtes für 1 Stunde in Summa ℳ 3,40

Derselbe Raum wird bei Anwendung von 300 Gasflammen nur spärlich erleuchtet und es stellen sich dafür, die Flamme zu ℳ 20 gerechnet, die Kosten der Anlage auf ℳ 6000;

Digitized by Google

15 % Zinsen und Amortisation (bei 1500 Stunden Brennzeit) macht	per	Stunde	Brennzeit	ℳ 0,60
Minimal-Verbrauch an Gas ...	„	„	„	„ 8,00
für sonstige Nebenkosten	„	„	„	„ 0,30

Kosten des Gaslichtes für 1 Stunde in Summa ℳ 8,90

Hiernach verhalten sich für denselben Raum die Kosten der elektrischen Beleuchtung und des Gaslichtes wie 3,40 : 8,90 oder wie 1 : 2,7, was wieder mit den vorhin erhaltenen Resultaten übereinstimmt.

E. Von Interesse ist auch die Betriebskosten-Berechnung des Herrn Ober-Ingenieurs *Graff* in München, welche sich auf die Beleuchtungs-Anlage des Münchener Bahnhofes (45 *Siemens*'sche Differential-Lampen bei Gasmotoren-Betrieb) bezieht und deutlich zeigt, dass selbst unter ungünstigen Annahmen bei genauer Erwägung aller in Betracht kommenden Factoren die Kosten der elektrischen Beleuchtung billiger als diejenigen der Gasbeleuchtung zu stehen kommen. Die Jahreskosten für diese betragen nämlich ℳ 22 100,50, für jene ℳ 17 500,00 bei 500 Brennstunden jährlich; demnach verhalten sich die Kosten der beiden Beleuchtungs-Systeme wie 17 500 zu 22 100,50, oder wie 1 : 1,265. Da sich nun, sobald genügende Deckung für das Auge durch Glasballons in Rechnung gebracht wird, die Lichtstärke des elektrischen Lichtes zu der des Gaslichtes wie 1,458 : 1 verhält, so ergibt sich bei gleicher Lichtstärke für die beiden Beleuchtungen das Verhältniss 1 : 1,844.[1]) Wenn dasselbe im Vergleiche zu den früheren Angaben ungünstiger lautet, so erklärt sich dieses in Folge der sehr kurz bemessenen Brenndauer. Auch sind die hohen Kosten in der kostspieligeren Brennkraft der Gasmotoren zu suchen. So ergab sich bei 1200 Stunden Brenndauer, dass die Beleuchtungskosten per Lampe und pro Stunde in dem englischen See-

1) Vgl. die Details Z. f. a. E. 1880, p. 84 u. ff.

Digitized by Google

bade Blackpool[1]), dessen grosse Promenade mittelst sechs grosser *Siemens*'scher Lampen und sieben elektrischer Maschinen (eine in Vorrath) bei Dampfbetrieb beleuchtet wird, nur ca. 34 ₰ betragen, während sie im Münchener Bahnhofe für eine Brennstunde 78 ₰ betragen.

Von hervorragender Bedeutung, sowohl durch den Ort als durch die Ausführung, ist der Beleuchtungsversuch der Leipzigerstrasse in Berlin, der im Winter 1882—83 von der Firma *Siemens & Halske* ausgeführt worden ist. Ueber denselben entnehmen wir einem Referate von *von Hefner-Alteneck* im Elektrotechnischen Verein in Berlin Folgendes.[2]) Das durch 25 elektrische Laternen erleuchtete Stück der Leipzigerstrasse hat eine Länge von 820m und eine Breite von 22m. Die Laternen stehen in jeder der beiden Reihen zumeist 75m von einander entfernt und sind bis zur Laternenmitte gemessen 5½m hoch; 11 Laternen erhellen den Potsdamerplatz. Das Maschinenhaus ist als Fachwerk-Bau mit massiver Vorderwand in dem Durchbruche der Wilhelmsstrasse Nr. 95, an der projectirten Verlängerung der Zimmerstrasse errichtet und von der nächsten elektrischen Lampe 350m entfernt. In demselben sind 4 zwölfpferdige *Otto Langen*'sche Gasmotoren aufgestellt, welche gänzlich unabhängig von einander je eine dynamo-elektrische Maschine (Modell D_0) betreiben. Drei solcher Maschinen speisen je 12 in einem Stromkreise liegende Differential-Lampen; die vierte Gaskraft- und elektrische Maschine steht in Reserve. Durch einen sogenannten General-Umschalter kann jedes Maschinensystem an jeden Stromkreis gelegt oder in Reserve gestellt und letztere statt einer anderen im Falle einer Unregelmässigkeit eingeschaltet werden. Die elektrischen Leitungen sind in drei von einander gänzlich getrennten Strom-

1) Vgl. den eingehenden Bericht über Anlage und Unterhaltungskosten. Engineering 1880, Bd. 29, p. 312.

2) Vgl. E. Z. 1882, p. 445.

Digitized by Google

kreisen unterirdisch in dem Innern der Laternenschäfte in die Höhe geführt. Von einer gemeinsamen oder nicht isolirten Rückleitung oder Erdleitung wurde in Anbetracht der hohen Spannung der verwendeten Ströme ganz abgesehen, so dass also z. B. in der Wilhelmsstrasse zwischen dem Maschinenhaus und der ersten Laterne 6 Kabel nebeneinander liegen. Von Zahlen seien folgende angeführt.

Das Gewicht der dynamo-elektrischen Maschinen beträgt je 800kg, der Gesammt-Leitungswiderstand ihrer Wicklung 13,64 Ohm. Sie liefern einen Strom von 11 Ampère bei einer Klemmenspannung-Differenz von ungefähr 650 Volt und einer elektromotorischen Kraft von 800 Volt. Die Länge der drei Stromkreise beträgt 1974, 1887 und 1480m, ihr Widerstand 2,15 Ohm für den Kilometer. Die Kohlenstäbe in den Lampen haben einen Durchmesser von 11mm, der Consum beträgt 53mm in der Stunde oder, mit Einrechnung der Abfälle in Geld ausgedrückt, 7 ₰. Die Brenndauer eines Kohlenpaares beträgt 9 Stunden. Der Widerstand eines Lichtbogens beträgt ungefähr 4,5 Ohm, die Leuchtkraft durch die matten Glasscheiben, mit denen die Laternen armirt sind, hindurch und unter einem Neigungswinkel von 30° zur Horizontalen gemessen, 880 Normalkerzen.

Der Gasverbrauch, welcher durch mächtige Gas-Uhren amtlich controlirt wird, beträgt für einen Motor, also je 12 Lampen, in der Stunde, einschliesslich der zur Erleuchtung des Maschinenhauses brennenden 7 Gasflammen, durchschnittlich 11,5cbm. Würde man dieses Gasquantum, statt auf dem Umwege durch Arbeitskraft und Elektricität Licht damit zu machen, direct verbrennen in gewöhnlichen Strassenschnittbrennern, so würde man damit nur ungefähr den zehnten Theil der Bodenbeleuchtung erzielen, als es jetzt durch das elektrische Licht der Fall ist.

Die elektrischen Lampen stehen dreimal so weit aus-

Digitized by Google

einander als die Gasflammen. Berechnet man nun die Kosten der Beleuchtung, indem man als Fläche die von einer elektrischen Lampe bezw. drei Gasflammen beleuchtete Fläche zu Grunde legt und den Gaspreis von 13,3 ₰ für 1 cbm annimmt, so findet man für die Beleuchtung per Stunde

mit Regenerativbrennern ... 32 Pfennige,
„ *Bray*'schen Brennern .. 48 „
„ elektrisch ..... 38 „

Die erhaltenen Lichtstärken verhalten sich dabei wie 360 : 315 : 880. Das elektrische Licht stellt sich also dem Preise nach ungefähr gleich dem Gaslicht, beleuchtet dann aber $2^1/_2$mal stärker als dieses und die Firma *Siemens & Halske* glaubt, das Licht noch erheblich billiger liefern zu können, wenn Dampfmaschinen statt der Gasmotoren verwendet werden können.

Während bei Beleuchtung geschlossener Räume das elektrische Bogenlicht entschieden billiger zu stehen kommt als Gas, ist es bei Strassenbeleuchtung ungefähr gleich theuer. Es kommt das daher, dass auf den Strassen die intensiven Lichter nicht günstig ausgenutzt werden können, da das Licht nur wesentlich nach einer Richtung sich ausdehnen kann.

Dasselbe Resultat, dass eine rationell eingerichtete Strassenbeleuchtung elektrisch ungefähr gleich hoch zu stehen kommt wie mit Gas, ergaben auch die Versuche, welche vom 1. April 1881 bis 31. März 1882 in einigen Strassenvierteln von London ausgeführt wurden und es zeigte sich auch da, dass eine gehörige elektrische Strassenbeleuchtung wenigstens dreimal so viel Licht braucht wie eine gute Gasbeleuchtung.

Drei ungefähr gleich grosse Districte wurden drei verschiedenen Gesellschaften zur Beleuchtung überlassen; der District I wurde mit dem *Brush*-System beleuchtet, District II

Digitized by Google

von *Weston*-Lampen mit *Lontin*-Maschinen, District III mit dem *Siemens*-System. In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Angaben über diese Beleuchtung zusammengestellt. Sie sind dem Berichte entnommen, welche *Colonel Haywood* den Commissioners of Sewers of the City erstattete.

District.	Maschinen.	Lampen.	Lampenzahl.	à Kerzen.	Kosten der Einrichtung. M.	Kosten des Betriebes. M.	Kosten der früheren Gasbeleuchtung. M.	Ersetzte Gasflammen.	Verhältniss der Kosten. Gas : Elektricität.
I.	*Brush*	*Brush*	33	2000	15 000	13 200	13 800	156	100 : 95
II.	*Lontin*	*Weston*	32	1200	29 400	29 200	14 000	157	100 : 209
III.	*Siemens*	*Siemens*	6	5000	29 000	45 400	12 240	139	100 : 371
			28	300					

Die 33 Lampen von *Brush* waren in einen einzigen Stromkreis eingeschaltet, dessen ganze Länge 65 km betrug. Der Strom wurde von einer grossen *Brush*-Maschine geliefert und die nöthige Kraft von 28 Pferden einer Dampfmaschine entnommen. Im Gegensatz dazu besass jede der grossen *Siemens*-Lampen eine besondere Maschine. Die 28 kleinen Lampen waren in 4 Gruppen zu je sieben angeordnet und je zwei Gruppen von einer Wechselstrom-Maschine gespeist. Die grösste Distanz zwischen Maschine und Leitung war 1200 m. Die Anlage absorbirte 40 Pferdestärken.

Die Kosten der elektrischen Beleuchtung mittelst *Jablochkoff*'scher Kerzen sind zwar bedeutender als diejenigen, welche bei Anwendung von Lampen entstehen, keineswegs aber höher als die des Gaslichtes. *Fontaine* entnahm einer Broschüre der Société *Jablochkoff* folgende Stelle:

Digitized by Google

„Man kann annehmen, dass die Anschaffungskosten eines Apparates zur Darstellung elektrischer Beleuchtung, bestehend aus Dampfmaschine, Lichtmaschine und allen Neben-Apparaten, sich wie folgt stellen:

für	16	Kerzen	fr. 16 000
„	8	„	„ 10 500
„	6	„	„ 9 000
„	4	„	„ 8 500

oder im Mittel fr. 1300 per elektrischen Brenner.

Die Kosten für Leuchtgas-Installationen betragen in Paris im Mittel fr. 100 per Brenner.

Es folgt hieraus, dass die Installationskosten eines elektrischen Lichtes im ungünstigsten Fall, wo ein eigner Motor erforderlich ist, nicht mehr wie die von 13 Gasflammen betragen. In allen Fällen, wo ein elektrisches Licht 13 Gasflammen ersetzt, kommen somit seine Installationskosten, trotz der bedeutend grösseren Lichtstärke, nicht höher als die von 13 Gasflammen.

Untersuchen wir jetzt, welches die Betriebskosten sind.

Nehmen wir an, es handelt sich um eine Installation von 16 elektrischen Lichtern, so setzen sich die Betriebskosten per Stunde aus folgenden Factoren zusammen:

16 Kerzen kosten je fr. 0,50 und brennen ungefähr 2 Stunden; somit:

Kosten der 16 Kerzen per Stunde	fr. 4,00
Kohlen für die Dampfmaschine, 3/4 Pferdekraft per Licht, somit ungefähr 12 Pferdekraft à 2kg und fr. 35 die Tonne	„ 0,84
Oel und Putzfetzen	„ 0,25
Salair des Heizers	„ 0,60
	fr. 5,69

Dies entspricht fr. 0,35 per Licht und Stunde.

In Werkstätten, wo schon Dampfmaschinen existiren, oder da, wo man hydraulische Kräfte benutzen kann, reduciren

Digitized by Google

sich diese Kosten, welche man als ein Maximum ansehen kann, beträchtlich.

Es kostet nun 1 Gasflamme mit 140 Liter Consum à fr. 0,30 per Cubikmeter = fr. 0,042.

Die Kosten eines elektrischen Lichtes sind darnach ebenso gross wie die von ungefähr 8 Gasflammen. In allen Fällen, wo somit in der Beleuchtungszone eines elektrischen Lichtes, d. h. in einem Kreis von ungefähr 10m Radius, sich 8 Gasflammen befinden, kann man selbe ohne Erhöhung der Kosten durch ein elektrisches Licht ersetzen und dabei bedeutend mehr Licht erhalten.

Die zu erzielende Ersparniss wird dabei um so rascher zunehmen, je weiter die Anzahl der ersetzten Gasflammen von dem erwähnten Minimum von 8 Brennern entfernt ist.

In den Grands Magasins du Louvre erzielt man durch die Anwendung der *Jablochkoff*'schen Kerzen eine Ersparniss von ungefähr 30% gegenüber dem frühern Gasverbrauch, und hat dabei ein bedeutend schöneres und kräftigeres Licht."

Neuerdings hat sogar die Société Générale d'Electricité den Preis zur Beleuchtung des Victoria Embankment auf 12 ₰ per Lampe und Stunde herabgesetzt. Anfangs kostete die Beleuchtung 50, dann 40, dann 34, darauf 20 und jetzt 12 ₰.

Schliesslich scheint auch die Oekonomie der Incandescenz-Beleuchtung eine allgemeinere Anwendung derselben zu gestatten. Konnte doch *J. W. Swan* in einer Sitzung der Society of Telegraph Engineers[1]) Folgendes behaupten: „Dass die Incandescenz-Beleuchtung immerhin eine ökonomischere und weniger kostspielige als die Gasbeleuchtung ist, wird entschieden bewiesen durch die Thatsache, dass 1000 Cubikfuss Gas in einer Gasmaschine verbrannt, einen elektrischen Strom zu entwickeln vermögen, welcher, in einer

1) Journal of The Society of Telegraph Engineers Nr. 34, Vol. IX.

Digitized by Google

Lampe verbraucht, mehr Licht erzeugt als 1000 Cubikfuss Gas, wenn es in den gewöhnlichen Gasbrennern verbraucht wird. Dieses Local hier wird augenblicklich von 20 meiner elektrischen Lampen erleuchtet, und um den Strom, der sie versorgt, zu erzeugen, werden 160 Cubikfuss Gas pro Stunde in einer Gasmaschine verbrannt. Ehe meine Lampen angezündet wurden, war das Zimmer durch 70 Gasflammen erleuchtet, welche, authentischen Nachrichten zufolge, pro Stunde 280 Cubikfuss Gas verbrauchten. Es ist augenscheinlich, dass man mehr Licht aus diesen 160 Cubikfuss Gas durch das Medium der Elektricität gewinnt, als von jener grösseren Quantität, welche die Brenner consumiren. Nach sehr genauen Messungen bin ich berechtigt, zu sagen, dass wenigstens zweimal so viel Licht durch eine gewisse Quantität Gas, das zum Erzeugen eines in meinen Lampen verbrauchten Stromes dient, hervorgebracht wird, als von der nämlichen Quantität, das in Gasbrennern verbrannt wird. Wenn dem so ist, so ist es klar, dass, wenn man die mechanische Arbeit nicht durch eine Gasmaschine, sondern durch eine ökonomische Dampfmaschine erzeugt, diese Methode der elektrischen Beleuchtung weit billiger ist als Gasbeleuchtung."

Fügen wir dem Urtheile des Erfinders noch dasjenige eines Berichterstatters bei, der wohl *sine ira et studio* urtheilen dürfte. Die Rundschau der Z. f. a. E. 1881, p. 243, berichtet nämlich: „So weit man bis jetzt die Sache übersehen kann, erfordert die Erzeugung der Intensität einer Gasflamme auf dem Wege der Incandescenz-Beleuchtung etwa 0,1 P. S. Man wird also von einer Pferdekraft 15 Gasflammen thatsächlich ersetzen können. Die Leistungsfähigkeit der Incandescenz-Beleuchtung in quantitativer Hinsicht beträgt sonach nur etwa $^1/_{10}$ der Leistungsfähigkeit der elektrischen Bogenbeleuchtung; dafür gestattet dieselbe aber eine weitaus vortheilhaftere Ausnutzung der erzeugten Lichtmenge. Es scheint

Digitized by Google

somit ausser Frage zu sein, dass die Incandescenz-Beleuchtung unter günstigen Bedingungen schon jetzt der Gasbeleuchtung erfolgreiche Concurrenz machen kann."

Doch muss man hier berücksichtigen, dass die Gasbeleuchtung noch eine ergiebige Einnahmequelle in den Nebenproducten Coaks, Theer und schwefelsaures Ammoniak hat, welche eine immer steigende Verwendung in der chemischen Farbe-Industrie finden. Einer Zusammenstellung aus dem Berichte der städtischen Gaswerke in Köln für 1881/1882 entnehmen wir, dass die zur Gasfabrication verbrauchten Kohlen in den vier Jahren von 1878/1882 im Ganzen 1 565 000 ℳ kosteten und dass die Einnahme von Nebenproducten nach Abzug sämmtlicher Unkosten 1 646 000 ℳ betrug, so dass die Einnahme für Nebenproducte um 81 000 ℳ die Ausgabe für Kohlen in den 4 Jahren überstieg. Diese Einnahme beträgt ca. 35 % der Einnahme für das Gas. Das Gas repräsentirt daher nur $^2/_3$ des aus einem bestimmten Quantum Kohle gewonnenen Nutzwerthes, während der elektrische Strom den ganzen Nutzwerth der in der Dampfmaschine verbrannten Kohle enthält. Diesen Umstand muss man in Berechnung ziehen, wenn man auf ernster Grundlage beide Beleuchtungsarten studiren will.

Für die Berechnung der Anlage- und Betriebskosten einer Beleuchtungs-Installation mit *Edison*-Lampen kann man folgende Zahlen zur Grundlage nehmen:

Eine *Edison*-Lampe *A* kostet 5 ℳ, braucht $^1/_7$ Pferdekraft und brennt 800 Stunden. Eine längere Brenndauer wird mit Wechselströmen erzielt, wobei dann aber mehr Kraft verbraucht wird. Die Anlagekosten betragen für eine kleine Anlage von 20 *A*-Lampen 90 ℳ per Lampe, für eine solche von 50 *A*-Lampen 75 ℳ, von 100 *A*-Lampen 60 ℳ, von 300 und mehr 50 ℳ per Lampe.

Eine Anlage von 150 Glühlampen specificirt sich z. B. folgendermaassen:

Digitized by Google

1 *Edison*-Dynamo-Maschine *L* für 18 Pferdekr.	6100 ℳ
1 Regulator hierzu	220 „
150 *A*-Lampen à 5 ℳ	750 „
150 Fassungen zu denselben à 4 ℳ	600 „
1000 m Leitungsdraht	200 „
Schaltvorrichtungen, Bleiverbindungen	250 „
Installation, Verschiedenes	880 „
	9000 ℳ

Dazu eine Dampfmaschine mit Kessel complet .. 17000 „

Die Betriebskosten der Beleuchtungsanlage setzen sich zusammen aus der Amortisation der Anlage, der Unterhaltung der Maschine und der Lampen.

Die Amortisation à 12½ pCt. beträgt .. 1125,00 ℳ
Schmieröl und Putzen ..... 175,00 „

Die Ausgabe für eine Lampe beträgt per 1 Stunde

$$\frac{5}{800} = 0{,}00625\,ℳ$$

Die Betriebskosten für die Kraftanlage sind:

Amortisation 12½ pCt.	2125,00 ℳ
Reinigung, Schmieren und Putzen	200,00 „
Kohlen per Stunde und Pferdekraft 2 kg à ..	1,80 ₰

Für eine durchschnittliche Brenndauer von 3—4 Stunden per Tag oder rund 1200 Stunden per Jahr kostet die Beleuchtung jährlich

a. die Kraftanlage

Amortisation der Anlage	2125 ℳ
Heizer	1000 „
Kohlen 1200 × 22 × 2 kg	950 „
Anheizmaterial	250 „
Reinigung, Schmieren und Putzen	250 „
	4575 ℳ

Digitized by Google

oder für 1 Stunde ..... 3,81 ℳ

b. die Beleuchtungsanlage

Amortisation	1125 ℳ
Schmieröl und Putzen	175 „
Lampen 0,00625·150·1200	1125 „
	2425 ℳ

oder für 1 Stunde ..... 2,02 „

Also Total für 1 Stunde ..... 5,83 ℳ

Eine Vergleichung der verschiedenen Beleuchtungsarten von *Ferd. Decker*,[1]) welche sich auf sorgfältige Berechnung stützt, kommt zu folgendem Resultat:

In der Praxis kann eine Gasflamme von 150 *l* stündlichem Gasverbrauch durch eine Glühlampe *Edison A*, von denen sieben auf eine Pferdekraft gehen, ersetzt werden. Ferner können 15 Gasflammen bei Beleuchtung von Fabriken und geschlossenen Räumen durchschnittlich durch eine Bogenlampe, welche eine Pferdekraft absorbirt, ersetzt werden. Eine solche Lampe liefert etwa 800 Kerzen Licht, also mehr als das Dreifache wie die 15 Glühlampen, welche nur $15 \times 16 = 240$ Kerzen liefern. Doch wird für eine gute Bogenlicht-Beleuchtung ein solcher Mehraufwand von Licht durch die Erfahrung gefordert.

Die Kosten der elektrischen Beleuchtung werden um so vortheilhafter, je besser die Anlage ausgenutzt, d. h., je grösser die jährliche Zahl von Brennstunden ist, da die Amortisation der Beleuchtungsanlage ein sehr wesentlicher Factor bei der Betriebsrechnung darstellt.

Im Fernern sind die Betriebskosten wesentlich beeinflusst durch den Preis der Kraft, und sind in der folgenden Tabelle die drei Fälle berücksichtigt, wo die Kraft geliefert wird von einem Gasmotor (Preis des Gases 20 ₰ pro 1 cbm),

1) Centralblatt für Elektrotechnik V, S. 522 ff, 1883.

Digitized by Google

von einer eigens zur Beleuchtung gestellten Dampfmaschine, oder wo endlich die Kraft einer schon bestehenden grösseren Dampfmaschine entnommen werden kann, so dass wesentlich nur die Kosten für Mehrverbrauch der Kohlen zu berechnen sind.

Die nachfolgende Tabelle enthält den Preis der Beleuchtung, welche einer Gasflamme entspricht, per Stunde unter der Voraussetzung

1 Gasflamme = 1 Glühlampe = $\frac{1}{15}$ Bogenlampe,

und zwar wenn die Anlage per Jahr benutzt wird 500, 800, 1200 und 3600 Stunden.

Brennstunden.	Gas.	Glühlicht.			Bogenlampen.		
		Grosse Dampfmaschine.	Besondere Dampfmaschine.	Gasmaschine.	Grosse Dampfmaschine.	Besondere Dampfmaschine.	Gasmaschine.
	₰	₰	₰	₰	₰	₰	₰
500	2,90	3,25	7,12	8,25	2,36	4,71	5,18
800	2,75	2,51	5,27	6,81	1,80	3,41	4,18
1200	2,67	2,09	4,10	5,88	1,49	2,71	3,42
3600	2,55	1,48	2,38	4,59	0,98	1,62	2,53

Die sehr lehrreichen Schlüsse aus dieser Tabelle zu ziehen überlassen wir dem Leser und bemerken nur noch, dass obige Zahlen für Anlagen von 10—20 Bogenlampen bezw. 150—300 Glühlampen gelten. Für kleinere Anlagen werden sie etwas grösser, für grössere etwas kleiner ausfallen.

Wenn die elektrische Beleuchtung kraft der vielen Vorzüge und grösseren Oekonomie, welche sie vor der Gasbeleuchtung voraus hat, der letzteren Abbruch thut, so ist begreiflich, dass auf gewisser Seite kein Umstand unerörtert bleibt, welcher die weitere Verbreitung des elektrischen Lichtes hemmen könnte. So spricht man insbesondere über

173. Die Gefährlichkeit des elektrischen Lichtes. Wenn einige Unglücksfälle vorgekommen sind, so ereigneten sich

Digitized by Google

diese nur bei provisorischen Anlagen und Umänderungen der Leitung. So sind *Uppenborn* zwei Fälle bekannt, wo Personen durch den Strom einer Wechselstrom-Maschine so sehr gelähmt wurden, dass sie nicht einmal um Hülfe schreien, viel weniger aber sich von den Drähten losreissen konnten. In der That erfordern die zerschmetternde Kraft und der furchtbare intermittirende Stoss des Wechselstromes die grösste Aufmerksamkeit des Maschinisten und des die Lampen bedienenden Personals. Dieser Grund ist keineswegs ungeeignet, die Wechselstrom-Maschinen zu verdrängen, zumal dieselben durch gleichwerthige, ja bessere Maschinen für continuirliche Ströme ersetzt werden können. Sind diese auch von grosser Spannung und geeignet, mehrere Lampen in einem Stromkreise zu speisen, so bringen sie, wenn nicht wie bei den *Brush*-Maschinen (vgl. p. 168) die Spannung aufs höchste gesteigert wird, einen unvorsichtigen Maschinisten oder unwissenden Neugierigen wenigstens nicht in Lebensgefahr; der empfangene Stoss ist, wenn auch unangenehm, so doch keineswegs von verderblichem Einflusse. Ein solcher ist ferner bei den gewöhnlichen dynamo-elektrischen Maschinen gar nicht vorhanden. „Fasst man die beiden Polen einer offenen dynamo-elektrischen Maschine an, so kommt, wie *Uppenborn* richtig bemerkt, wegen des hohen Leitungswiderstandes des menschlichen Körpers gar kein Strom zur Ausbildung. Berührt man dagegen die Pole einer durch einen Widerstand von z. B. 1 Ohm geschlossenen Maschine, so kann immer noch kein erheblicher Strom den menschlichen Körper durchfliessen. Denn nehmen wir den Widerstand des menschlichen Körpers zu rund 2000 Ohm an, so würde dieser Strom bei einer dynamo-elektrischen Maschine, welche mittelst eines Stromes von 38,42 Ampère 4000 Normalkerzen producirt, nur $^1/_{2000}$ des ganzen Stromes, also 0,0192 Ampère betragen."

Somit ist das menschliche Leben durch die elektrische

Digitized by Google

Beleuchtung nicht gefährdet, sobald der *Brush*'schen Neigung, die Spannung der Maschinen immer mehr zu steigern und möglichst viele Lampen (etwa 40) in einen Stromkreis zu schalten, keine Folge geleistet und ein gleichgerichteter Strom zum Speisen der Lampen verwendet wird; ja bei einiger Aufmerksamkeit können sogar leichtere Unfälle vermieden werden, nicht nur bei der Anlage, sondern auch beim Betriebe, da eine jede Lampe mit einer Ausschalte-Vorrichtung versehen werden kann.

Wenn sich in der Isolation der in Gebäuden liegenden Drähte kleine und grössere Isolationsfehler befinden, so kann der Strom diese als willkommene Gelegenheit benutzen, um von einer Leitung zu einer anderen überzuspringen und durch Hervorbringen von Hitze Feuerschaden anrichten. Es dürfen daher im Innern von Gebäuden nur gut isolirte und unverbrennbare Leitungen verwendet werden. Wenn aber diese rationell und mit Fachkenntniss verlegt werden, kann keinerlei Unfall passiren. Doch ist es rathsam, zwei verschiedene Leitungen nicht unmittelbar neben einander, sondern in einer Entfernung von einigen Centimetern zu führen. Feuers-, Explosions- und Erstickungsgefahr, welche in den Zuleitungsröhren und in den Brennern des Leuchtgases, besonders aber in den Gasflammen selbst liegt, sind geradezu bei der elektrischen Beleuchtung ausgeschlossen; daher findet auch die elektrische Beleuchtung in Räumen, in denen man Rücksicht auf Feuergefährlichkeit nehmen muss, z. B. in Spinnereien, Webereien, chemischen Fabriken, Lagerräumen für leicht entzündliche Stoffe, sowie für Theater und Bibliotheken eine passende Verwendung.

Digitized by Google

XV. Abtheilung.

Verschiedene Anwendungen

der magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen.
Anwendung zu galvanoplastischen Zwecken.

174. Anwendung der Handmaschinen.[1]) Welche Vortheile die kleineren für den Hand- oder den Fussbetrieb eingerichteten magnet-elektrischen Maschinen für die Arbeits- und die Hörsäle der wissenschaftlichen Institute darbieten, haben wir bei der Beschreibung dieser Maschinen hervorgehoben. Da bei den dynamo-elektrischen Maschinen die Ströme verstärkend auf die inducirenden Elektromagnete einwirken, so wird bei ihnen die gegenseitige Anziehung zwischen den Magnetpolen und dem rotirenden Ringe oder der Trommel sehr bald so gross, dass sie von der Hand eines oder zweier Arbeiter nicht mehr überwunden werden kann. Das dynamo-elektrische Princip eignet sich daher nicht für die kleinen Handmaschinen; Stahlmagnete treten hier an die Stelle der Elektromagnete und die Maschinen sind einfach magnet-elektrische.

Die Maschinen von *Gramme*, *Siemens-Halske*, *Schuckert* u. s. w., welche continuirliche und constante Ströme von gleicher Richtung liefern, eignen sich in vielen Fällen zu

1) Vgl. Machines électriques à courants continus .. par *A. Niaudet*. Paris 1881, p. 36 und ff.

Digitized by Google

medicinischen Zwecken, da sie im Stande sind, 6 bis 12 grosse *Bunsen*'sche Elemente zu ersetzen und je nach der Geschwindigkeit der Umdrehung Ströme von verschiedener Stärke zu erzeugen. Ihr hoher Preis schliesst ihre Verwendung für den privaten Gebrauch aus, dagegen werden sie bei den Aerzten in Kliniken, Lazarethen, Krankenhäusern, Operationssälen u. s. w. immer mehr in Anwendung kommen, weil sie die lästigen Batterien überflüssig machen und eine immer dienstbereite Quelle von Elektricität darbieten, die sich nicht abnutzt und weder einer Unterhaltung noch einer Beaufsichtigung bedarf. Bei einer mässigen Umdrehung geben sie einen fast ganz continuirlichen Strom; bei langsamer Drehung variirt die Intensität desselben periodisch, was man an den sehr merklichen Zuckungen wahrnimmt, die man empfindet, wenn man die in die Polklemmen eingeschalteten metallenen Handgriffe mit feuchten Händen anfasst. Soll die Maschine stärkere Zuckungen erregen, so wird in den Kreislauf des Stromes irgend eine von der Hand zu bewegende Unterbrechungsvorrichtung oder ein Selbstunterbrecher eingeschaltet; endlich ist dieselbe sehr geeignet, um Inductions-Apparate jeder Art in Thätigkeit zu versetzen.

Geradezu unschätzbar sind diese Handmaschinen für ärztliche Zwecke, insbesondere die von *Siemens-Halske* (*Hefner-Alteneck's* System), welche die Maschinen von *Gramme* an Kraft bei Weitem übertreffen, um Wärme zu erzeugen und mit dieser Wärme Platindrähte glühend zu machen. Diese Wärmewirkungen zeigen sich schon an den starken glänzenden Funken, die man erhält, wenn man den vom Strome durchflossenen Leitungsdraht an irgend einer Stelle unterbricht, so wie an dem unter lebhaftem Funkensprühen verbrennenden Eisen, wenn man den einen Poldraht über eine grobe Feile oder eine Raspel hinstreicht, welche mit dem andern Poldrahte der Maschine in Verbindung steht.

Schaltet man an irgend einer Stelle des Stromkreises

Digitized by Google

einen nicht zu langen, feinen Eisen- oder Platindraht ein, so wird derselbe bei Drehung der Maschine in wenigen Secunden je nach der Geschwindigkeit der Drehung roth- bis weissglühend, ja, er schmilzt ab, wenn seine Länge und Dicke der Quantität der erzeugten Elektricität angemessen ist. Mittelst der *Gramme*'schen Handmaschine wird ein Platindraht von $^1/_8$ mm Dicke und 20 bis 25 cm Länge hell rothglühend, mit einer *Siemens*'schen Maschine wird derselbe Draht weissglühend und bei 10 cm Länge schmilzt er ab. Platindrähte von dieser Stärke reichen zur Kauterisation und zum völligen Abbrennen krankhafter Körpertheile vollkommen aus; aber es lassen sich auch dickere Drähte bei entsprechender Länge bis zum Weissglühen erhitzen und bei anhaltender Drehung der Maschine beliebig lange weissglühend erhalten.

175. Anwendung zum Schmelzen von Stahl, Eisen u. s. w. Auf der sehr hohen Temperatur, welche der galvanische Strom hervorbringt, beruht auch eine werthvolle Verwendung desselben in den Gewerben zum Schmelzen von Platin, Iridium, Stahl und Eisen oder zur Hervorbringung von solchen Reactionen und Zersetzungen, die zu ihrer Vollendung einen intensiven Hitzegrad erfordern. Zur Schmelzung von Eisen und Platin verfertigte *William Siemens*[1]) einen besondern Apparat. Derselbe besteht aus einem gewöhnlichen Schmelztiegel von Graphit oder anderem sehr schwer schmelzbaren Materiale, welches in ein auf einem Dreifusse stehendes, metallisches Gefäss, unter Ausfüllung des Zwischenraumes mit gestossener Holzkohle oder einem andern schlechten Wärmeleiter, eingesetzt ist. Durch den Boden des Schmelztiegels ist ein Loch gebohrt, durch welches ein Stab von Gaskohle eingeführt ist. Der Deckel des Tiegels ist ebenfalls durchbohrt, um die negative Elektrode, einen Cylinder

1) Vgl. E. Z. I, p. 325.

Digitized by Google

von gepresster Kohle, aufzunehmen. Die automatische Regulirung des Bogens wird durch eine einfache Vorrichtung bewirkt; geht daher der Strom anhaltend durch die Elektroden hindurch, so häuft sich die Hitze sehr rasch an. Beim Arbeiten mit einer Dynamo-Maschine, die bei einem Aufwande von 4 Pferdekräften einen Strom von 40,68 Ampère erzeugt, fand *Siemens*, dass ein in nicht leitendes Material eingesetzter Tiegel von ungefähr 20cm Tiefe in weniger als einer Viertelstunde zum Weissglühen gebracht und alsdann die Schmelzung eines Kilogramms Stahl in einer weiteren Viertelstunde bewirkt wurde, während die nachfolgenden Schmelzungen in kleineren Zeiträumen erfolgten. Weit wichtiger als solche Schmelzungen sind entschieden die vielfachen

176. **Anwendungen der dynamo-elektrischen Maschinen zu chemischen Zwecken,** zur Galvanoplastik und zu metallischen Niederschlägen aller Art. Sie haben trotz der verhältnissmässig kurzen Zeit ihrer Verwendung für obige Zwecke eine Verbreitung gefunden, die beweist, wie rasch allseitig die ausserordentlichen Vortheile erkannt worden sind, die ihr Gebrauch gewährt.

In der That, wer Gelegenheit hatte, das Arbeiten mittelst galvanischer Elemente mit ihren gesundheitsschädlichen Dünsten, zeitraubender Rein- und kostspieliger Instandhaltung mit dem bequemen, reinlichen und zuverlässigen Betriebe zu vergleichen, den dynamo-elektrische Maschinen gewähren, kann nicht im Zweifel sein, welcher Einrichtung der Vorzug gebührt.

Die höheren Anschaffungskosten machen sich binnen Kurzem durch Ersparniss an Säuren, Zink, Quecksilber und anderen Materialien bezahlt, und die Zuverlässigkeit bewahrt vor den tausenderlei Unannehmlichkeiten und Störungen, die mit der Verwendung von Elementen untrennbar verknüpft sind.

Digitized by Google

Gewährte die dynamo-elektrische Maschine auch nur den einen Vortheil, unter allen Umständen, also auch bei Tag und Nacht ununterbrochen dauerndem Betrieb stets gleichen Strom, also auch gleichen Wirkungsgrad zu geben, so wäre dies schon ein genügender Grund, sie zu bevorzugen, denn sie sichert ja hierdurch nicht nur ein stets gleichmässig gutes Product, sondern ermöglicht auch die Lösung galvanoplastischer Aufgaben, die früher kaum oder nur mit den grössten Schwierigkeiten ausführbar waren.

Die dynamo-elektrische Maschine hat nicht nur einem schon vorhandenen Industriezweig eine willkommene Hülfe gebracht, sondern sie hat durch ihre Vorzüge geradezu bewirkt, dass dieser Industriezweig eine ausserordentliche Entwickelung erfahren.

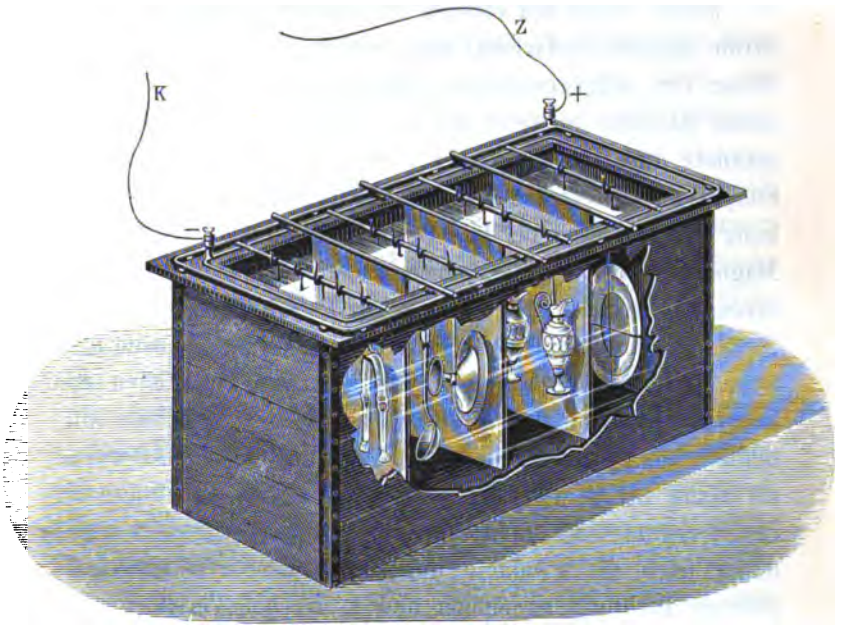
Der täglich mehr in Aufnahme kommende Brauch, Gegenstände von Stahl, Eisen und anderen der Oxydation ausgesetzten Metallen zu vernickeln oder mit einem andern metallischen Ueberzug zu versehen, datirt in der Hauptsache erst von der Verwendung der dynamo-elektrischen Maschine und wird, weil zweckmässig, immer grössere Verbreitung finden.

Bezüglich der Praxis, welche bei galvanoplastischen Arbeiten des Vergoldens, des Versilberns u. s. w. befolgt wird, sei nur bemerkt, dass die beiden Pole der den Strom erzeugenden Maschine durch Leitungsdrähte Z und K mit zwei Metallstäben in Verbindung stehen, welche zu einander parallel auf dem obern Rande des die Zersetzungsflüssigkeit enthaltenden Holztroges, gut von einander isolirt, befestigt sind. Auf den positiven Metallstab werden vermittelst Querstäbe eine oder mehrere Gold- oder Silberplatten aufgehängt, durch welche der Strom in die Flüssigkeit eintritt. Die zu vergoldenden oder zu versilbernden Gegenstände werden vermittelst biegsamer Metalldrähte an andere Quer-

Digitized by Google

stäbe aufgehängt und letztere so auf den negativen Metallstab gelegt, dass die Gegenstände in der Flüssigkeit den Metallplatten gegenüber stehen. Der Strom geht daher im Innern des Zersetzungstroges von den Metallplatten durch die Flüssigkeit zu den zu bearbeitenden Gegenständen und zersetzt die Flüssigkeit; das bei diesem Processe ausge-

Fig. 416.



Zersetzungstrog für galvanoplastische Arbeiten.

schiedene reine Metall legt sich dabei in cohärenter Form auf die metallischen Gegenstände und bedeckt diese mit einer metallischen Schicht von Gold, Silber u. s. w., deren Dicke von der Stärke und der Dauer des Stromes abhängt.

Der Strom findet also, wie Fig. 416 zeigt, seinen Eintritt über *Z* in die Zersetzungszellen,[1]) sowie seinen Aus-

1) Geht der Strom derselben Maschine durch mehrere Bäder, so erweist sich die Einschaltung mehrerer Bäder hintereinander als zweck-

Digitized by Google

tritt über *K* aus denselben an zwei oder mehreren grossen Metallplatten oder metallenen Stäben. So lange die Maschine in Bewegung ist, bleiben die Pole der Elektromagnete unverändert dieselben und der erzeugte Strom ist continuirlich und stets von derselben Richtung. Tritt aber in dem Betriebe zufällig oder absichtlich eine Stockung ein, so erzeugen die genannten Eintritts- oder Austrittsplatten + und —, welche durch den vorigen und nunmehr unterbrochenen Strom geladen (polarisirt) sind, durch die Entladung einen Strom von entgegengesetzter Richtung, der sich durch die ganze Maschine fortsetzt und hier die Polarität der Elektromagnete umkehrt, so dass aus dem früheren Nordpole ein Südpol wird. Nun beruht aber die dynamo-elektrische Wirkung der Maschine auf dem Vorhandensein eines remanenten Magnetismus in den Elektromagneten, und die Richtung des erzeugten Stromes hängt ab von der Polarität dieses kleinen Restes magnetischer Kraft in den Eisenkernen. Würde man nun, nachdem durch den Entladungsstrom der Zellen die Pole der Elektromagnete umgekehrt worden sind, die Maschine ohne Weiteres wieder in Bewegung setzen, so würde sie einen Strom von der entgegengesetzten Richtung des ersten Stromes erzeugen; in den Zersetzungszellen würden daher auch die Producte der Zersetzung eine entgegengesetzte Richtung annehmen und z. B. bei Versilberungsarbeiten die im Bade befindlichen Gegenstände anstatt versilbert entsilbert werden.

Um diesem Uebelstande zu begegnen, bringt *Gramme* an seiner Maschine für Galvanoplastik §. 46 einen automatisch wirkenden Stromunterbrecher an, der selbstthätig den Strom unterbricht, wenn die Maschine langsamer geht oder

---

mässiger wie die bisher übliche Einschaltung nebeneinander; bei Hintereinanderschaltung wächst die gesammte niedergeschlagene Metallmenge beträchtlich, während sie bei Nebeneinanderschaltung ziemlich constant bleiben soll. Vgl. *Dingler's* Polyt. Journal. Bd. 227, p. 211.

Digitized by Google

plötzlich stehen bleibt; der Gegenstrom wird dadurch von der Maschine abgehalten und ein Polwechsel kann in den Elektromagneten nicht eintreten. Wenn man später die Maschine wieder in Gang setzen will, braucht man nur ein kleines Metallblech, Strombrecher genannt, an die Elektromagnete zu legen, um die Arbeit sofort wieder beginnen zu können.

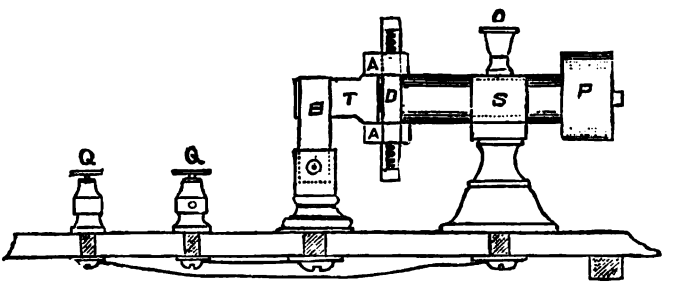
Ein solcher Strombrecher besteht aus einem drehbaren Eisenstücke mit Gegengewicht, welches die ableitenden Bürsten mit den Elektromagneten in Verbindung setzt. So lange diese stark magnetisirt sind, halten sie das Eisenstück fest und der Strom kann aus dem Ringe zu den Elektromagneten und den Metallbädern übergehen. Wenn jedoch die Maschine aus irgend einem Grunde anfängt, langsamer zu gehen, verlieren die Elektromagnete ihre anziehende Kraft, das Gegengewicht im Strombrecher kommt zur Wirkung und trennt das verbindende Eisenstück von den Bürsten; der Strom des Ringes kann nun nicht mehr zu den Elektromagneten übergehen, die Leitung ist unterbrochen und der Gegenstrom verhütet. Die Elektromagnete behalten daher stets dieselbe Polarität und die Maschine kann nach jedem Stillstande sofort wieder in Bewegung gesetzt werden.

Zu demselben Zwecke ist der Stromschliesser und Oeffner von *E. Weston* construirt (Fig. 417). Er besteht aus einer Scheibe *D*, welche auf einer Welle befestigt ist. Diese ruht in dem horizontalen Lager einer Säule *S* und wird durch den Riemen *J* von der Welle *D* der Maschine aus gedreht (c. Fig. 79). Die Scheibe *D* ist mit zwei radialen Schlitzen versehen, in welchen je ein Gleitstück gleiten kann. Diese Stücke werden durch justirbare Spiralfedern nach der Achse der Scheibe hin gedrückt, und zwar gegen eine Metallnabe, welche sich von der Scheibe nach aussen hin erstreckt und von der Welle, auf der die Scheibe sitzt, gut isolirt ist. Gegen die Nabe legt sich auch eine

Digitized by Google

Feder *B* an, welche an einer Säule befestigt ist. Die erwähnten Säulen sind, wie die Fig. 417 zeigt, mit den Klemmen *Q* (*A* in Fig. 79) verbunden, von denen die äusseren Leitungsdrähte ausgehen. Ist nun die Geschwindigkeit der Maschine unter ein bestimmtes Maass gesunken, so bilden die Gleitstücke mit der Nabe einen elektrischen Contact. Der auftretende Gegenstrom durchfliesst alsdann nur den Stromschliesser, da dieser weit weniger Widerstand bietet als die innere Leitung der Maschine. Erreicht aber die Geschwindigkeit der Maschine eine bestimmte Grösse,

Fig. 417.



Strombrecher von E. Weston. (Vgl. Fig. 79.)

so treibt die Centrifugalkraft die Gleitstücke ausser Berührung mit der Nabe, so dass der wiederum stärker gewordene Strom der Maschine nicht durch den Hülfs-Apparat, sondern durch die äussere Leitung bezw. den Zersetzungstrog fliesst.

Damit der Hauptstrom auch für den Fall geschlossen bleibt, dass alle Gegenstände aus dem Elektroplatirgefässe genommen werden, schaltet *Weston* in die äussere Leitung einen Rheostat von genau bemessenem Widerstand ein.

Hiermit haben wir in aller Kürze der Art und Weise gedacht, wie der galvanische Strom dazu benutzt wird, die Metallsalze zu zerlegen und die Metalle aus den Auflösungen derselben chemisch rein in cohärenter Form niederzuschlagen.

Digitized by Google

Schon die kleinen magnet-elektrischen Handmaschinen von *Siemens-Halske (v. Hefner-Alteneck)* mit 50 Stahlmagneten zersetzen das Wasser sehr lebhaft, und zwar dreimal so stark als die Handmaschinen von *Gramme*. Dieselbe *Siemens*'sche Maschine mit Riemenscheibe und Maschinenbetrieb (Fig. 130), deren Trommel mit dickem Drahte bewickelt ist, lässt sich schon zu chemischen Zersetzungen der verschiedenen Metallsalze im Grossen verwenden und liefert beispielsweise einen Niederschlag von 200g Kupfer oder 700g Silber in der Stunde. Von noch grösserer Wirkung sind natürlich die dynamo-elektrischen Grossmaschinen, die daher auch zu den verschiedensten chemischen und metallurgischen Arbeiten, namentlich zu galvanoplastischen Niederschlägen jeder Art, zur Zersetzung von Metallverbindungen, zur Reduction der Mineralien, zur Verkupferung, Vergoldung, Versilberung, Vernickelung, Bronzirung, zur Anfertigung von Clichés (Galvanos) in Schriftgiessereien und grossen Buchdruckereien u. s. w. von Tag zu Tag weitere Anwendung finden. In den umfangreichen, weltberühmten galvanoplastischen Werken von *Christofle & Cie.* in Paris und von *Elkington* in Birmingham sind zahlreiche elektrische Maschinen unausgesetzt in Betrieb, und die Zeit wird nicht mehr fern sein, wo in allen industriellen Anstalten ähnlicher Art die lästigen galvanischen Batterien durch magnet- oder dynamo-elektrische Maschinen ersetzt sind. Wo eine Arbeitskraft, Wasser oder Dampf, zum Betriebe einer elektrischen Grossmaschine schon vorhanden ist, erweist sich ihre Anwendung von besonderem Vortheile; aber auch bei kleineren metallurgischen Arbeiten empfehlen sich die kleineren magnet-elektrischen Maschinen, da sie zu ihrer Bewegung nur einen Motor von $^1/_2$ bis $1^1/_2$ Pferdekräften erfordern und dieser in einer guten Gasmaschine (z. B. in *Otto's* geräuschlosem Gasmotor) oder in einer Heissluftmaschine leicht zu beschaffen ist.

Die genannten Maschinen von *Siemens*, welche 700g

Digitized by Google

Silber in der Stunde niederschlagen, kosten ℳ700. Eine magnet-elektrische Maschine *Gramme*, welche 400g Silberniederschlag per Stunde liefert, kostet ℳ1200; eine dynamo-elektrische Grossmaschine von ℳ2400 liefert 1000g und die grösste von ℳ11000 15kg Silberniederschlag in der Stunde. *Schuckert* (§. 51) baut zu galvanoplastischen Zwecken seine Flachring-Maschinen von 1/4 bis 2 Pferdekräften, von denen die kleinste ℳ400 und die grösste ℳ1800 kostet. Mehr als 150 dieser Maschinen verschiedener Grösse für galvanoplastische Zwecke befinden sich seit Jahren im Betrieb, und die zahlreichen Zeugnisse, worunter solche der bedeutendsten Institute und Firmen, sprechen für ihre Güte.

Bei der Vielseitigkeit in der Anwendung zu chemischen Zwecken lässt sich gegenwärtig noch gar nicht übersehen, welche Revolution die grossen dynamo-elektrischen Maschinen in den metallurgischen Processen und hüttenmännischen Arbeiten und in den verschiedenen chemischen Industrien mit der Zeit hervorrufen werden. Wir erwähnten bereits, dass eine grosse Bleichanstalt in Whitechapel den elektrischen Strom einer *Wilde*'schen Maschine (§. 31) zur Erzeugung des Ozons als Bleichmittels angewandt habe. Ozon entsteht, wenn zahlreiche elektrische Funken oder überhaupt eine unter Funken erfolgende elektrische Entladung durch einen Strom von Sauerstoff hindurchgehen. Der ozonisirte Sauerstoff aber hat in hohem Grade die Eigenschaft, durch seine oxydirende Wirkung die organischen Substanzen zu zerstören und dieselben aus der Wäsche zu entfernen. Schon hat *Ruhmkorff* vor einigen Jahren einen Apparat construirt, um mit Hülfe einer seiner Inductions-Maschinen eine reiche Fülle von Ozon zu medicinischen Zwecken zu erzeugen; in den neueren dynamo-elektrischen Maschinen aber besitzen wir gegenwärtig eine fast unerschöpfliche Quelle von Elektricität, die wir durch den Aufwand mechanischer Arbeit und daher in vielen Fällen ohne erhebliche Unkosten er-

Digitized by Google

zeugen können, und in der atmosphärischen Luft haben wir andererseits einen nicht minder unerschöpflichen Vorrath von freiem Sauerstoffe. Wir dürfen daher nicht zweifeln, dass es gelingen werde, mit Hülfe der elektrischen Maschinen grosse Mengen von Ozon billig darzustellen und dasselbe zum Bleichen und zu anderen chemischen Processen praktisch zu verwenden.

Von den vielen Verwendungen der Elektricität in der chemischen Industrie heben wir nur noch hervor

177. Die Entfuselung des Alkohols. Bei dem gewöhnlichen Verfahren zur Darstellung des Alkohols erhält man bei der ersten Destillation 45% reinen Alkohol und bei jeder folgenden Destillation noch weniger. Es ist deshalb sehr vortheilhaft, ein Verfahren zu besitzen, das erlaubt, durch einen einzigen Process den Fusel möglichst vollständig zu entfernen. Herr *M. Laurent Naudin* hat durch eine genaue Untersuchung der Bestandtheile des Fusels gefunden, dass die schädlichen Verbindungen Aldehyde der Fettreihe, d. h. wasserstoffarme Alkohole seien. Das Verfahren von *Naudin* besteht nun darin, diese Verbindungen mit freiem Wasserstoff in Berührung zu bringen. Dadurch werden dann dieselben in reinen Alkohol verwandelt. Zu diesem Zwecke wird der Fusel durch Glasröhren geleitet, welche mit vielen Oeffnungen versehen sind. Zu beiden Seiten finden sich der ganzen Länge nach dünne Platinbleche, welche als Elektroden mit einer Dynamo-Maschine von *Gramme* verbunden sind. Das Ganze ist in einen Glascylinder luftdicht eingeschlossen. Um den Durchgang des elektrischen Stromes zu erleichtern, wird die Flüssigkeit schwach angesäuert, wenn sie es nicht sonst schon ist. Das in der Flüssigkeit enthaltene Wasser wird durch den elektrischen Strom theilweise zersetzt, der Wasserstoff vereinigt sich mit den Aldehyden zu Alkohol und der Sauerstoff oxydirt und zerstört die in demselben enthaltenen organischen Bestandtheile.

Digitized by Google

Der Ertrag dieses Verfahrens ist 80 bis 85 %.

Berthelot ist es auf eine ähnliche Weise gelungen, Glykose in Alkohol überzuführen. Zwei Platinschwamm-Elektroden wurden in angesäuertem Wasser und mit einer starken Batterie von 8 Bunsen-Elementen verbunden, je mit Wasserstoff und Sauerstoff gesättigt. Nachher wurden die Elektroden in eine wässerige Lösung von Glykose gebracht und durch die Einwirkung des freiwerdenden Sauerstoffs und Wasserstoffs wurde ein Theil der Glykose in Alkohol verwandelt.

Schliesslich erwähnen wir noch die schönen Versuche von *E. Goppelsröder* zur Verwendung der Elektrolyse in der Färberei und Buntdruckerei.[1])

Goppelsröder benutzt den elektrischen Strom:

1) Um gleichzeitig auf den verschiedenen Fasern Farben zu bilden und zu fixiren.

2) a. Um die auf Geweben fixirten Farben wegzuätzen und auf diese Weise weisse Muster auf einfachem Grunde zu gewinnen.

b. Um die auf Gewebe fixirten Farben wegzuätzen und auf diese Weise Muster in neuen Farben auf gleichfarbigem Grunde zu erzeugen.

3) Um das Oxydiren der Farben von Metallsalzen während des Druckes zu verhindern.

4) Um die Auflösung der durch Wasserstoff reducirten Farben von Indigo und Anilinschwarz zu bereiten.

Goppelsröder hofft auch die von ihm entdeckten elektrochemischen Processe zur Hervorbringung von Zeichen und zum Schreiben auf grössere Entfernungen in der Telegraphie zu verwenden. Doch sind entscheidende Versuche hierüber noch abzuwarten.

178. Verwerthung für telegraphische Zwecke. Die hohen

1) Comptes rendus XCV, p. 239 ff.

Digitized by Google

Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der galvanischen Batterien, die Unbequemlichkeiten in ihrer Instandhaltung, die drohende Gefährdung des Betriebes durch die in ihnen vorkommenden Störungen und der zu ihrer Aufstellung in grossen Aemtern erforderliche bedeutende Raum musste das Verlangen entstehen lassen, in der Telegraphie den von galvanischen Batterien gelieferten stetigen Strom mittelst Inductions-Maschinen erzeugen zu können. An die nach dieser Richtung bereits früher unternommenen Versuche reihen sich neuerdings mehrere an, welche von gutem Erfolge begleitet sind. Im Herbste 1879 versuchte *L. Schwendler* den starken und ungemein billigen Strom einer Dynamo-Maschine für telegraphische Zwecke zu verwenden. Hauptsächlich dient dieser nach der *Schwendler*'schen Methode für irgend eine nützliche Arbeit, z. B. zur Beleuchtung, zur Kraftübertragung oder zu chemischen Zwecken; ein Theil desselben aber wird zu den Telegraphenlinien abgeleitet, ohne dass hierdurch die andere zu leistende Arbeit beeinflusst wird. *Schwendler* telegraphirte so von Calcutta nach Agra. Der starke Strom wurde in den Telegraphenwerkstätten des Alipore-Gouvernements erzeugt und diente zur Beleuchtung der Werkstätten. Ein etwa 0,004 desselben betragender Theil wurde durch die 850 engl. Meilen langen Telegraphenlinien zwischen Agra und Calcutta geleitet, ohne dass während des Telegraphirens eine Aenderung in der Stärke des elektrischen Lichtes bemerkt werden konnte.

Dieser Versuch fiel so günstig aus, dass *Schwendler* es wagte, einen grössern Versuch zu machen, nämlich alle in die Calcutta Telegraph Office einmündenden Linien mit passenden, auf dem angegebenen Wege gewonnenen Zweigströmen zu versehen. Wiederum zeigten die Experimente, dass es vollkommen möglich und praktisch ist, von dem Hauptstrome einer dynamo-elektrischen Maschine den ganzen Strombedarf eines Telegraphen-Bureaus abzuzweigen, und

Digitized by Google

dass die erforderliche nur sehr kleine Abzweigung die Regelmässigkeit irgend welcher von dem Hauptstrome gethanen Arbeit nicht beeinflussen kann.[1])

Es können natürlich auch besondere Maschinen ausschliesslich für telegraphische Zwecke verwandt werden. *L. Kohlfürst* in Prag bediente sich z. B. eines fünflamelligen, von einem Triebwerke gedrehten *Siemens*'schen Magnet-Inductors, dessen Poldrähte an den Arbeits- und an den Ruhecontact eines gewöhnlichen Morse-Tasters geführt wurden; sodann legte er drei Morse-Stiftschreiber von grossem Widerstand und einen Rheostat hintereinander in den Stromkreis, der am Ruhecontact und der Axe des Tasters endete. Dabei fand er, dass die drei Morse selbst bei raschem Arbeiten gute Schrift gaben.

In grösserem Maassstabe stellte die Western Union Telegraph Company in ihrem Haupt-Telegraphenamte zu New-York Versuche an, welche dem Vorschlage *Field's* in Francisco folgten, den Strom von der erforderlichen Stärke nicht mittelst einer einzigen Maschine zu erzeugen, sondern eine Anzahl von Inductions-Maschinen anzuwenden und diese wie galvanische Elemente hintereinander zu schalten, indem man immer den positiven Poldraht der einen an den negativen Pol der nächsten legte. Bei dem Gebrauche von *Siemens*'schen Maschinen, deren Elektromagnete durch den Strom einer Dynamo-Maschine angeregt wurden, erwies sich der Strom gleich gut brauchbar für den Betrieb des Quadruplex und der Börsendrucker. Es wurden daher drei Sätze von Inductions-Maschinen und Betriebs-Maschinen aufgestellt, von denen zwei für gewöhnlich die 360 von dem Amte

1) Vgl. Z. f. a. E. 1880, p. 93. *Schwendler:* „Verwerthung der Ströme von dynamo-elektrischen Maschinen für telegraphische Zwecke." ib. 1881, p. 131. „Ueber einige Experimente zur Versorgung aller in der Calcutta Telegraph Office endigenden Linien mit von dem Hauptstrome einer dynamo-elektrischen Maschine abgeleiteten Zweigströmen."

Digitized by Google

auslaufenden Drähte der Western Union Company und die Kabel der Gold and Stock Telegraph Company speisen, während der dritte in Reserve bleibt. Ein einziger Ingenieur genügt, sämmtliche Maschinen zu überwachen, welche noch nicht den zehnten Theil des für die Batterien nöthigen Raumes einnehmen. Der Inductionsstrom soll dort den galvanischen nicht nur in den Telegraphenlinien und Localstromkreisen, sondern auch bei den Klingeln und allen anderen Verwendungen ersetzen, wobei ein Rückgang der Kosten von 50% erwartet wird.[1])

1) Vgl. E.-Z. I, p. 106, sowie *Dingler's* P. J., Bd. 236, p. 341.

Digitized by Google

XVI. Abtheilung.

Die elektrische Uebertragung der Kraft.

179. Kraftübertragung. Wenn wir in §. 172 nachwiesen, dass es nicht vortheilhaft ist, die nach dem alten Verfahren aus den galvanischen Batterien gewonnene Elektricität zu mechanischer Arbeitsleistung zu verwenden, so muss es umgekehrt vortheilhaft sein, die mechanische Arbeit in Elektricität umzusetzen. Letzteres geschieht eben in den magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen, und es entspricht dem Aufwande einer gegebenen mechanischen Arbeit eine bestimmte Menge Elektricität, die wir in dem Flammenbogen in den Formen von Wärme und Licht wieder zum Vorschein kommen sehen. Aber wir brauchen die durch Arbeit auf billige Weise erzeugte Elektricität nicht in Wärme und Licht umzuwandeln; wir können dieselbe vielmehr wieder in Arbeit zurückführen.

Wenn man den aus einer der genannten Maschinen gewonnenen elektrischen Strom in eine gleiche oder in eine andere beliebige elektrische Maschine leitet, so setzt sich diese in Bewegung und leistet Arbeit. Verbindet man beispielsweise die Leitungsklemmen der beiden in den Figuren 100 und 130 abgebildeten zwei Handmaschinen von *Gramme* und *Siemens* durch zwei Drahtleitungen mit einander und dreht man mit der Hand die eine von ihnen, so geräth

Digitized by Google

dadurch die andere in Bewegung, und zwar ist die Geschwindigkeit der letzteren um so grösser, je stärker der Strom ist, den man mit der Muskelkraft des Armes in der ersten Maschine erzeugt. Gerade so geschieht es mit jeder anderen magnet- oder dynamo-elektrischen Grossmaschine, und wir können so durch den elektrischen Strom mechanische Arbeit an jedem beliebigen Orte, wohin wir den Strom führen und in passend construirte Maschinen leiten, gewinnen. Von den verschiedenen Processen der elektrischen Kraftübertragung ist bisher hauptsächlich der elektrolytische Process allgemein bekannt und leicht verständlich. Es wird bei demselben eine gewisse Menge Metall von der einen Elektrode, der positiven, durch die Zelle hindurch zu der negativen Elektrode übergeführt. In einer Leitung, welche aus einer Batterie (oder Dynamo-Maschine) mit der elektromotorischen Kraft E, einem Zersetzungs-Apparate, dessen elektromotorische Kraft (Polarisation) e und den Verbindungsdrähten besteht, ist die Stromstärke J, wenn W der gesammte Widerstand ist, durch die Gleichung bestimmt:

$$E = e + J\,W;$$

multiplicirt man diese Gleichung mit J, so wird

$$E\,J = e\,J + J^2\,W.$$

$E\,J$ ist die von der Batterie geleistete, $e\,J$ die vom Polarisations-Apparate absorbirte Arbeit und $J^2\,W$ die im Stromkreise entwickelte Wärmemenge. Ist die Elektrolyse im Zersetzungs-Apparate der Zweck des elektrischen Processes, so ist $e\,J$ die nutzbare Arbeit, $E\,J$ die aufgewendete Arbeit, $e\,J : E\,J = e : E$ ist der Nutzeffect, und $J^2\,W$ die verlorene Arbeit.

Wenn an Stelle des Zersetzungs-Apparates eine zweite Dynamo-Maschine eingeschaltet wird, so fängt diese an, mit einer gewissen Geschwindigkeit sich zu drehen, so bald die erste Maschine in Bewegung gesetzt wird und ein Strom

Digitized by Google

in der Leitung circulirt. Je grösser die Geschwindigkeit derselben und je stärker der erzeugte Strom ist, um so schneller und mit um so mehr Kraft dreht sich auch die zweite Maschine, der Elektromotor, und er ist selbst im Stande, äussere Bewegungshindernisse zu überwinden und mechanische Arbeit zu leisten. Die zweite getriebene Maschine dreht in entgegengesetzter Richtung wie die erste treibende Maschine. Würde man diese aus der Leitung ausschalten, aber jene mit derselben Geschwindigkeit, welche sie vorhin besass, nun durch Aufwendung mechanischer Arbeit weiter drehen, so entwickelt sie eine gewisse elektromotorische Kraft e und in der Leitung circulirt ein elektrischer Strom, der aber nun die entgegengesetzte Richtung hat wie derjenige Strom, der die Maschine vorhin getrieben hat.

Es besteht wieder die Gleichung

$$E = e + J W,$$

welche auch in diesem Falle die elektrischen Vorgänge beherrscht.

In allen Fällen haben wir es mit drei verschiedenen Maschinen zu thun:

1) Die Anfangsmaschine ist irgend ein Krafterzeuger oder mechanischer Motor (eine Dampfmaschine, Gaskraftmaschine, Heissluftmaschine, Wasserkraft mit Wasserrad oder Turbine u. s. w.) und liefert die Betriebskraft der ganzen Einrichtung; wir nennen sie daher zweckmässig die Betriebsmaschine oder den Anfangsmotor.

2) Die Zwischenmaschine ist eine dynamo- oder eine magnet-elektrische Maschine; sie setzt die Arbeit der Betriebsmaschine in Elektricität um und erzeugt den elektrischen Strom; wir nennen sie daher kurz den Stromerzeuger oder Stromgeber.

3) Die Endmaschine, ebenfalls eine dynamo- oder eine magnet-elektrische Maschine, empfängt durch die Leitung

Digitized by Google

den Strom des Stromerzeugers, wird durch denselben auf die bekannte Weise in Rotation versetzt und erzeugt, diesmal durch Umsetzung von Elektricität in mechanische Arbeit, diejenige Kraft, welche für den beabsichtigten Zweck erforderlich ist. Wir nennen daher diese letzte Maschine den Elektromotor.

Die Theorie der elektrischen Kraftübertragung oder des elektrischen Triebwerkes ist gegenwärtig noch Gegenstand wissenschaftlicher Controverse. Wir werden im Folgenden nur die Grundlagen dieser Theorie andeuten, soweit sie durch zahlreiche Versuche als richtig erwiesen sind, und müssen für das Weitere auf die Publicationen in den Fachzeitschriften verweisen, die namentlich von *Depres* in „La lumière électrique" und von *Frölich* in der „Elektrotechnischen Zeitschrift" herrühren. Ferner ist zu erwähnen die gekrönte Preisschrift „Kritische Vergleichung der elektrischen Kraftübertragung mit den gebräuchlichsten mechanischen Uebertragungssystemen von *A. Beringer*".

180. Theorie des elektrischen Triebwerkes. Bezeichnen wir mit

E die elektromotorische Kraft des Stromerzeugers,

e „ „ „ „ Elektromotors,

J „ Stromstärke,

W den Gesammt-Widerstand des Kreises,

so ergibt das *Ohm*'sche Gesetz

$$J \times W = E - e.$$

Wir bezeichnen ferner mit

T die im Stromerzeuger aufgewendete Arbeit in Pferdestärken oder die Gesammtarbeit,

N die im Elektromotor wiedergewonnene Arbeit in Pferdestärken oder die Nutzarbeit,

S den durch den Widerstand des Kreises verursachten Arbeitsverlust in Pferdestärken,

$c = \frac{1}{C}$ den Reductionsfactor für die Verwandlung von

Digitized by Google

mechanischer Energie in elektrische Energie (siehe S. 69), unter Voraussetzung eines idealen Umsetzungsprocesses für beide Maschinen, d. h. wenn die elektrische Energie des im Draht circulirenden Stromes vollständig die von der Maschine absorbirte mechanische Energie repräsentirt, ist nach dem *Joule*'schen Gesetze

$$T = c \times E \times J$$
$$N = c \times e \times J$$
$$S = c \times J^2 \times W.$$

Hier muss immer erfüllt sein: $T = S + N$.

Durch Benutzung der Gleichung von *Ohm* $E - e = J \times W$ erhält man:

$$T = c \times \frac{E\,(E - e)}{W}$$
$$N = c \times \frac{e\,(E - e)}{W}$$
$$S = c \times \frac{(E - e)^2}{W}.$$

Der Nutzeffect des Systemes ist ausgedrückt durch:

$$\eta = \frac{N}{T} = \frac{e}{E},$$

ist also gleich dem Verhältniss der elektromotorischen Kräfte und nähert sich der Einheit, je mehr e gleich E wird.

Die Summe der Grössen $E - e$ und e hat den constanten Werth E; mithin erreicht N sein Maximum, wenn $e = \frac{E}{2}$ ist, d. h. die Nutzarbeit ist am grössten, wenn die elektromotorische Gegenkraft gleich ist der Hälfte der elektromotorischen Kraft der Stromquelle.

Für diesen Fall ist aber die Intensität des in der Leitung circulirenden Stromes

$$i = \frac{E - \frac{E}{2}}{W} = \frac{E}{2\,W} = \frac{J}{2},$$

Digitized by Google

d. h. die Nutzarbeit ist am grössten, wenn die wirksame Stromstärke halb so gross ist als diejenige des Stromes, welcher besteht, wenn der Elektromotor in Ruhe ist.

Für denselben Fall ist ferner

$$N = ei = \frac{E}{2} i = \frac{T}{2},$$

d. h. die Nutzarbeit ist im Falle des Maximums gleich der Hälfte der Gesammtarbeit.[1])

Sehr belehrend ist die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate; dieselbe gestaltet sich, wenn die elektromotorischen Kräfte als Abscissen abgetragen werden, folgendermaassen (Fig. 418).

Die Gesammtarbeit

$$T = c \frac{E - e}{W} \cdot E$$

ist die Gleichung einer geraden Linie $E S' M$.

Die Nutzarbeit

$$N = c \frac{E - e}{W} \cdot e$$

ist die Gleichung einer Parabel $O S E$, welche ihr Maximum bei $e = \frac{E}{2}$ erreicht. Da die Gesammtarbeit nur grösser als die Nutzarbeit sein kann, die beiden aber für den Fall $e = E$ gleich wären, so versteht man, dass die Gerade $E S' M$ eine Tangente der Parabel $E S O$ ist. — Für $e = \frac{E}{2}$ ist die Nutzarbeit $A S$ die Hälfte von $A S'$, der Gesammtarbeit.

---

1) Wären zwei magnet-elektrische Maschinen gleicher Construction und Grösse mit einander verbunden, so wäre ferner nach früherem

$$\eta = \frac{N}{G} = \frac{e}{E} = \frac{v}{V},$$

unter v und V die Tourenzahl der beiden Maschinen verstanden.

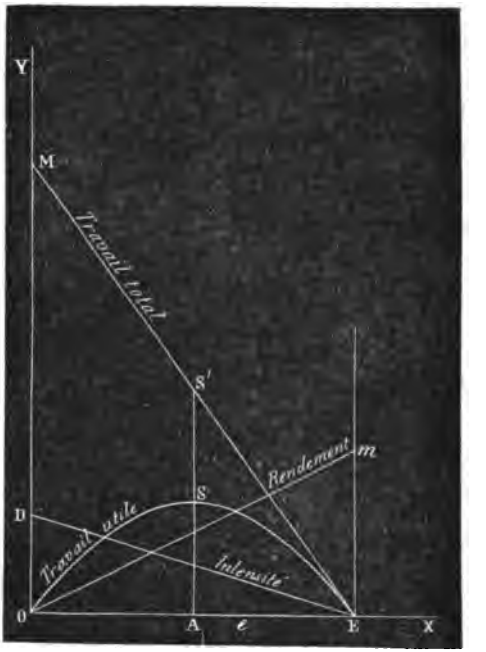
Digitized by Google

Der Nutzeffect

$$\eta = \frac{e}{E}$$

ist die Gleichung einer geraden Linie $O\,m$; $Em = 1$. Aus der Figur ist ersichtlich, dass der Nutzeffect $= \frac{1}{2}$ ist, wenn die Nutzarbeit ihr Maximum erreicht.

Fig. 418.



Graphische Darstellung zur elektrischen Kraftübertragung.

$$i = \frac{E - e}{W}$$

ist die Gleichung einer Geraden $E\,D$, für welche $O\,D = \frac{E}{W} = J$ ist.

Wenn die Nutzarbeit N am grössten ist, so ist der Nutzeffect $\eta = \frac{e}{E} = {}^1/_2$, d. h. die Hälfte der aufgewendeten

Digitized by Google

Totalarbeit T wird als Nutzarbeit N gewonnen; die andere Hälfte geht in der Leitung als Stromwärme S verloren. Wenn es darauf ankommt, die disponibelen Maschinen möglichst auszunutzen, wird man suchen, dieses Maximum der Nutzarbeit zu erhalten. Das wird man dann thun, wenn der Preis der Arbeitskraft sehr gering ist im Verhältniss zu den aus der Amortisation der Anlage und dem Betrieb derselben entspringenden Unkosten.

In den meisten Fällen wird man aber darnach trachten, aus einem gegebenen Quantum aufgewendeter Totalarbeit möglichst viel Nutzarbeit zu erhalten. Man wird suchen, den Nutzeffect η möglichst gross zu machen und die verlorene Stromwärme S möglichst klein. Nun ist

$$S = c\,(E - e) \times J.$$

Wir können also S klein machen, indem wir die Stromstärke J möglichst niedrig wählen, was zur Folge hat, dass die Spannung möglichst gross sein muss, um doch einen wirksamen Strom zu erhalten. Denn da die Nutzarbeit $N = e \times J$ im gleichen Verhältniss wie die Stromstärke kleiner wird, so muss e in demselben Verhältniss grösser werden, damit nicht auch die Nutzarbeit auf einen unbedeutenden Werth heruntersinkt.

Ausserdem kann man S klein machen, indem man den zweiten Factor $E - e$ verkleinert. Das bedingt, dass e möglichst gross wird, und kann dadurch erreicht werden, dass der Elektromotor möglichst vollständig die Energie des Stromes absorbirt. Die Maschine muss desshalb ein sehr wirksames magnetisches Feld besitzen und muss ausserdem eine möglichst vollständige Verwandlung der elektrischen Energie in mechanische gestatten.

Theoretisch kann man beide Anforderungen in beliebig hoher Annäherung realisiren und so Einrichtungen construiren, welche auf jede Entfernung die Kraft zu übertragen gestatten, mit einem Nutzeffect, den man so hoch

Digitized by Google

annehmen mag, als man nur will. In der Praxis ist man aber an sehr enge Grenzen gebunden. Einmal kann man die elektromotorische Kraft E nicht beliebig hoch machen. Bis jetzt gestattet man allgemein eine Spannung bis zu 1500 Volt. *Deprez* in München hat 2200 Volt verwendet, doch sind solche Spannungen bis jetzt für den regelmässigen Betrieb ausgeschlossen, da die unvollkommenen Isolirungsmaterialien der Maschinen solche Spannungen nicht dauernd zu ertragen vermögen, dann aber auch, weil man, wie die Erfahrung zeigt, mit Recht eine Gefährdung der persönlichen Sicherheit fürchtet.

Aber auch die Annäherung mit dem zweiten Factor findet bald seine Grenzen. Es finden hier die Erörterungen Platz, welche wir schon in dem Artikel betreffend Canalisation der Elektricität bei Glühlichtern angebracht haben. Wenn der Motor eine gewisse Leistungsfähigkeit beibehalten soll, so gibt es eine gewisse untere Grenze für die Dicke der Drähte, die man nicht überschreiten darf, ohne die Solidität der Maschine zu gefährden und ohne eine zu starke Erhitzung derselben befürchten zu müssen. Man muss deshalb versuchen, den Widerstand der Leitung möglichst zu vermindern, indem man starke Drähte aus gutem Leitungsmaterial verwendet. Dadurch wird aber die ganze Anlage vertheuert. Diese Vertheuerung wächst so sehr an, dass sehr bald die Uebertragung unökonomisch wird.

Unsere Berechnungen auf Seite 762 zeigen, dass man die Anlage am rationellsten einrichtet, wenn als Querschnitt q der Leitung gewählt wird

$$q = \sqrt{\frac{31{,}5 \cdot 10^{12}\, p\, P \cdot s \cdot 20}{C \cdot v}}\ J$$

Wir wollen nun die Grössen p und P unter gewissen Voraussetzungen bestimmen. Wenn die Anlage täglich 12 Stunden arbeitet und im Jahre 300 Tage, so ist

$$p = \frac{12}{24} \cdot \frac{300}{365} = 0{,}41.$$

Digitized by Google

Für den Werth der Dampfkraft kann man pro Pferdestärke und Jahr 300 ℳ annehmen. Setzt man eine Kupferleitung voraus, so ist $s = 0{,}017$ und der Werth eines Cubikmeters ist ungefähr 19 580 ℳ Nach Seite 68 ist $C = 75 \cdot 9{,}81$. Man erhält also

$$q = \sqrt{\frac{31{,}5 \cdot 10^{12} \cdot 0{,}41 \cdot 300 \cdot 0{,}017 \cdot 20}{75 \cdot 9{,}81 \cdot 19\,580}} \cdot J$$

$$= 1{,}60\, J \text{ qmm.}$$

Für Eisen ist $s = 0{,}125$ und $v = 1950$ ℳ

$$q = 14{,}2\, J \text{ qmm.}$$

Berechnet man mit diesen Werthen für 1 km Leitung die Drahtquerschnitte in den Fällen, wo der Stromerzeuger 5, 10, 50, 100 Pferdestärken in elektrischer Energie liefern soll, so erhält man nachfolgende Tabelle.

Es ist dabei eine elektromotorische Kraft des Stromerzeugers von 1500 Volt vorausgesetzt, ferner angenommen, dass die Leitung die Hälfte des Gesammtwiderstandes ausmache.

Totalarbeit T in Pferdestärken . . .	5	10	50	100
Stromstärke in *Ampère*	5	10	50	100
Querschnitt der Kupferleitung qmm .	8,3	16,6	83,3	166,6
„ „ Eisenleitung qmm . .	71	142	710	1420
Stromwärme S in Pferdestärken . . .	0,069	0,137	0,689	1,379
Elektrischer Nutzeffect η	0,986	0,986	0,986	0,986

Berechnet man die Stromwärme S, welche in der Leitung verloren geht, für die verschiedenen Triebwerkslängen unter denselben Voraussetzungen, so findet man für die elektrischen Nutzeffecte folgende Werthe:

Triebwerkslänge	100	500	1000	5000	10 000	20 000
Elektrischer Nutzeffect η .	0,99	0,98	0,97	0,86	0,73	0,46

Digitized by Google

Bis jetzt haben wir vorausgesetzt, dass wir es mit vollkommenen Maschinen zu thun haben, bei welchen eine vollständige Umsetzung der mechanischen Energie in elektrische im Stromerzeuger und eine vollständige Wiedergewinnung derselben aus der elektrischen Energie im Elektromotor stattfindet. Dem ist aber in Wirklichkeit nicht so. Zunächst wird der Nutzeffect durch die *Foucault*'schen Ströme herabgedrückt, welche in dem weichen Eisen des rotirenden Ankers inducirt werden und welche zur Erhitzung der Maschine wesentlich beitragen. Man muss daher zu der im Stromerzeuger aufzuwendenden Arbeit T einen dieser Stromwärme gleichwerthigen Arbeitstheil F_1 zufügen, dagegen für die vom Elektromotor geleistete Nutzarbeit N einen entsprechenden Theil F_2 in Abzug bringen. Die aufgewendete Totalarbeit ist daher

$$T = c \times J \times E + F_1$$

und die gewonnene Nutzarbeit ist

$$N = c \times J \times e - F_2;$$

der Nutzeffect in diesem Falle wird

$$\eta = \frac{c \times J \times e - F_2}{c \times J \times E + F_1}.$$

Für das Maximum der Nutzarbeit ist jetzt der Nutzeffect sogar kleiner als $\frac{1}{2}$.[1])

Wie wir aus den Versuchen auf der Pariser und Münchener Elektricitäts-Ausstellung (siehe Seite 687) wissen, beträgt der Nutzeffect des Umsetzungsprocesses von mechanischer in elektrische Energie 80 bis 90%. Nehmen wir als Mittelwert 85%, so wird der höchste erreichbare Nutzeffect bei einer elektrischen Kraftübertragung, bei welcher jener Process zweimal eintritt, immer kleiner, als $85 \times 85 = 72\%$ sein müssen. Er würde nur dann 72% erreichen, wenn es möglich wäre, die Stromwärme S verschwinden zu

1) *Dietrich*, Centralblatt für Elektrotechnik V., p. 520, 1883.

Digitized by Google

lassen. Den Einfluss der Stromwärme haben wir oben bestimmt, und es werden die dort angegebenen elektrischen Nutzeffecte η, mit Berücksichtigung der Unvollkommenheit der elektrischen Maschinen nur folgende Werthe in der Praxis erreichen:

a.	bei Triebwerkslängen	von	100 m	$\eta = 69$
b.	„	„	500 „	$\eta = 68$
c.	„	„	1000 „	$\eta = 66$
d.	„	„	5000 „	$\eta = 60$
e.	„	„	10 000 „	$\eta = 51$
f.	„	„	20 000 „	$\eta = 32$.

Natürlich kann man noch bedeutend grössere Nutzeffecte erzielen, wenn man die Ausgabe für eine kostspielige Leitung nicht scheut und entsprechend dickere Leitungen verwendet.

Die Kosten der Anlage eines elektrischen Triebwerkes werden von *A. Beringer* folgendermaassen zusammengestellt:

Ein fünfpferdiges Triebwerk erfordert bei 100 m Distanz (200 m Leitung)

1 Dynamo-Maschine als Stromerzeuger	ℳ 4060
1 „ „ Elektromotor	„ 2750
1 Einschaltvorrichtung	„ 200
200 m Kupferdraht von 3,2 mm à 0,16 ℳ	„ 32
3 imprägnirte Stangen mit Montirung	„ 38
Fundamente und Aufstellung	„ 590
Summa	ℳ 7670.

Der Posten für die Maschinen mit 7600 ℳ möchte etwas hoch gegriffen sein, doch werden wir ihn beibehalten; für diesen Preis können jetzt drei Maschinen gestellt werden, von denen eine als Reserve benutzt werden kann. Eine solche Reserve-Maschine ist, wie die bisherigen Erfahrungen zeigen, nothwendig. Mit denselben Einheitssätzen ist nachfolgende Tabelle berechnet für verschiedene Kraftübertragungen mit verschiedenen Triebwerkslängen, reducirt auf 1 Pferdestärke.

Digitized by Google

Es werden übertragen Pferdestärken.	Die Triebwerkslänge beträgt in Meter					
	100	500	1000	5000	10000	20000
	M	M	M	M	M	M
5	1534	1590	1660	2226	2920	4320
10	1060	1102	1155	1570	2100	3150
50	812	836	866	1106	1406	2006
100	655	677	706	920	1210	1770

Stellt man als Amortisation und Verzinsung 10%, als Reparatur 4% des Anlagecapitals ein, setzt man im fernern eine Ausnutzung der Anlage voraus zu je 10 Stunden täglich und 360 Tagen jährlich und nimmt man die oben angegebenen Nutzeffecte als richtig an, so findet man als Preis der nutzbaren übertragenen Arbeit in Pferdestärken und Stunden:

Uebertragene Arbeit in Pferdestärken.	Die Triebwerkslänge beträgt in Meter					
	100	500	1000	5000	10000	20000
	M	M	M	M	M	M
5	0,188	0,194	0,201	0,239	0,274	0,433
10	0,167	0,173	0,178	0,211	0,258	0,403
50	0,156	0,161	0,166	0,190	0,227	0,353
100	0,149	0,154	0,159	0,182	0,219	0,340

181. Die Versuche von Fontaine über die elektrische Kraftübertragung. Die Erfahrung stimmt bisher mit der Theorie. Die ersten Versuche hierüber wurden von *Fontaine* ausgeführt und in den folgenden Tabellen die wichtigsten derselben zusammengestellt.[1])

1) L'Electricien 15. Juni 1881.

Digitized by Google

I. Versuche mit zwei gleichen Maschinen, welche einen innern Widerstand von 1 *Ohm* haben.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Widerstand der äusseren Leitung in *Ohm*.	Die von dem Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die von dem Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %.
1540	1240	0,075	190,140	94,892	49,95
1540	1220	0,075	227,740	110,644	48,50
1540	1040	0,075	305,428	158,258	51,80
1540	980	0,075	323,683	164,639	50,80
1540	1150	0,930	158,623	62,992	39,50
1540	1030	0,930	209,283	97,171	46,40
1540	930	0,930	280,086	144,188	51,40

II. Versuche mit zwei gleichen Maschinen, welche einen innern Widerstand von 3 *Ohm* haben.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Widerstand der äusseren Leitung in *Ohm*.	Die von dem Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die von dem Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %.
1550	925	1,85	358	157	44
1550	1210	1,83	223	110	49
1550	1130	1,85	272	156	57

III. Versuche mit zwei gleichen Maschinen, welche einen innern Widerstand von 5 *Ohm* haben.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Widerstand der äusseren Leitung in *Ohm*.	Die von dem Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die von dem Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %.
1600	1110	2,65	246	108	43
1600	1000	2,65	356	163	45
1600	1050	2,65	292	135	46
1600	1030	3,97	364	174	47
1600	1050	3,97	324	153	47

Digitized by Google

IV. Versuche mit zwei ungleichen Maschinen, deren innerer Widerstand 2,63 *Ohm* (Stromgeber) bezw. 1,15 *Ohm* (Elektromotor) sind.

Tourenzahl des Stromgebers in der Minute.	Tourenzahl des Elektromotors in der Minute.	Aeusserer Widerstand in *Ohm*.	Aeusserer Widerstand in der Länge des Drahtes von 0,004 m D.	Die vom Stromgeber verbrauchte Arbeit in kgm.	Die vom Elektromotor geleistete Arbeit in kgm.	Nutzeffect in %.
1360	1455	0,075	55,30	280,00	141,00	50,3
1360	1410	»	»	264,30	142,60	53,9
1360	1590	»	»	232,30	127,12	54,7
1360	1345	»	»	288,60	165,50	57,3
1520	1440	»	»	366,22	197,70	54,0
1520	1530	»	»	338,90	188,00	55,5
1520	1640	»	»	310,70	178,00	57,3
1360	1055	0,930	701,78	295,50	140,10	47,4
1360	1365	»	»	258,60	131,90	51,0
1360	1430	»	»	240,30	124,00	51,6
1520	1320	»	»	358,70	181,00	50,4
1520	2000	»	»	335,20	121,00	51,4
1520	1390	»	»	340,00	180,00	52,9
1360	1310	4,743	3576,00	173,00	70,76	40,9
1360	1450	»	»	154,80	66,27	42,8
1520	1570	»	»	239,00	21,55	38,2
1360	1280	6,525	4922,16	160,00	55,34	34,5
1360	1400	»	»	131,40	50,08	38,1
2150	2450	»	»	306,27	125,56	35,0
2150	2200	8,443	6368,00	355,00	114,00	32,0

Die Tabelle I zeigt deutlich, dass bei einem äussern Widerstande von 0,075 *Ohm*, welcher einem Kupferdrahte von 50 m Länge und 4 mm Durchmesser entspricht, sowie einem Widerstande von 0,930 *Ohm*, welcher 700 m desselben Drahtes entspricht, der Nutzeffect ziemlich derselbe ist, sowie nur in dem letzten Falle die Geschwindigkeit des Elektromotors etwas kleiner wird.

Der Widerstand 2,65 *Ohm* entspricht einem Kupferdrahte von 2000 m Länge und 4 mm Durchmesser, der Widerstand 3,27 *Ohm* entspricht 3000 m desselben Drahtes. Die Tabelle III zeigt daher, dass auf eine Entfernung von 1500 m und bei einem Nutzeffecte von fast 50 % zwei Pferdekräfte mit den untersuchten Maschinen leicht übertragen werden können.

Digitized by Google

Die Tabelle IV belehrt uns endlich, dass die versuchten Maschinen einen zu kleinen Widerstand besassen, als dass sie die Kraft mit günstigem Erfolge auf mehr als 1 km zu übertragen vermochten. Bei einer Leitung von 6 km Drahtlänge sank der Nutzeffect sogar auf 23 % zurück, obschon die Tourenzahlen erheblich vermehrt wurden.

Auf der Pariser Ausstellung wurden ebenfalls auf kurze Distanzen Versuche mit *Gramme*-Maschinen gemacht. Die Resultate stellen wir in folgender Tabelle zusammen.[1])

1) Exposition internationale d'Electricité à Paris 1881. Administration Jury II, p. 390 und ff.

Digitized by Google

Nr.	Tourenzahl des Stromerzeugers.	Total-Arbeit. kgm.	Tourenzahl des Motors.	Nutz-Arbeit.	Stromwärme.	Elektrischer Nutzeffect.	Mechanischer Nutzeffect.
I. 18. Oct. 1881. Maschinen *A* und *B*. Leitung 84 m = 0,080 Ohm.							
1	1344	152,96	839	83,87	—	—	0,515
2	1389	192,75	792	105,60	—	—	0,545
3	1419	259,16	729	120,83	—	—	0,466
4	1329	246,67	533	106,60	—	—	0,432
5	1344	328,91	502	117,13	—	—	0,306
II. 19. Oct. 1881. Maschinen *A* und *D*. Leitung 84 m = 0,080 Ohm.							
6	1366	246,53	905	90,00	—	—	0,365
7	1390	280,69	815	108,16	—	—	0,373
8	1354	290,57	685	114,16	—	—	0,392
9	1371	337,28	552	110,30	—	—	0,327
III. 19. Oct. 1881. Maschinen *A* und *D*. Leitung 560 m = 1,005 Ohm.							
10	1399	264,49	786	78,60	—	—	0,319
11	1324	269,92	603	80,30	—	—	0,298
12	1428	329,74	531	88,50	—	—	0,218
IV. 13. u. 14. Nov. 1881. Maschinen *B* u. *C*. Leitung 84 m = 0,080 Ohm.							
13	1209	90,81	1316	0	5,63	0,06	0
14	1184	163,63	915	54,90	31,05	0,53	0,336
15	1244	213,57	740	69,07	48,42	0,55	0,323
16	1242	212,93	779	71,71	48,22	0,57	0,342
17	1194	219,72	580	73,47	71,50	0,66	0,335
18	1176	223,34	468	74,95	100,80	0,79	0,336
19	1193	262,46	229	51,91	169,46	0,84	0,197
V. 13. November 1881. Maschinen *C* und *B*. Leitung 560 m.							
20	1223	86,68	1526	0	13,46	0,16	0
21	1226	135,19	752	45,12	45,18	0,67	0,336
22	1250	168,49	648	60,48	76,52	0,81	0,359
23	1203	204,14	477	60,35	103,17	0,81	0,296
24	919	190,99	172	27,55	140,76	0,87	0,144

Digitized by Google

Das die Messungen ausführende Comité schloss aus dieser Tabelle, dass das Problem der Kraftübertragung noch weit davon entfernt sei für die Praxis gelöst zu sein, wenn es sich nicht um ganz kleine Mengen von Arbeit handelt mit einem Nutzeffect, der 50% nicht übersteigt.

Der elektrische Nutzeffect ist gleich dem Verhältniss der elektromotorischen Kräfte des Stromerzeugers und des Elektromotors $\eta = \frac{e}{E}$; der mechanische Nutzeffect dagegen ist das Verhältniss der Nutzarbeit am Elektromotor gemessen, zur Gesammtarbeit, welche der Stromerzeuger absorbirt, $\eta' = \frac{N}{T}$.

Der elektrische Nutzeffect wird aus den an den Dynamo-Maschinen gemessenen Spannungen berechnet. Es bezeichnet S die an den Klemmen des Stromerzeugers gemessene Spannung, s die Spannung am Elektromotor; ist ferner R der Widerstand des Stromerzeugers, r derjenige des Elektromotors und w der Widerstand der Leitung, so ist der Gesammtwiderstand

$$W = R + r + w.$$

Endlich sei I die Stromstärke; dann ist die elektromotorische Kraft des Stromerzeugers nach dem Gesetze von *Kirchhoff* (S. 90)

$$E = S + R\,I;$$

und diejenige des Elektromotors

$$e = s - r\,I,$$

also

$$\eta = \frac{s - r\,I}{S + R\,I}.$$

Nach dieser Formel sind die elektrischen Nutzeffecte in den obigen Versuchen von *Marcel Deprez* und in den noch später angeführten berechnet.

Digitized by Google

Um den mechanischen Nutzeffect berechnen zu können, misst man mit Hülfe des *Prony*'schen Zaumes (§. 16) die vom Elektromotor gelieferte Nutzarbeit, und mit Hülfe eines Feder-Dynamometers (§. 15) die vom Stromerzeuger absorbirte Gesammtarbeit.

182. **Kraftübertragung von Marcel Deprez in München.** Zum ersten Male führte *Deprez* während der elektrischen Ausstellung in München 1882 den Versuch aus, Kraft auf grosse Distanzen elektrisch zu übertragen, nämlich zwischen Miesbach und München. Die Distanz betrug 57 km. Die Doppelleitung bestand aus 4,5 mm dickem Eisendraht. Als Stromerzeuger und Elektromotor wurden zwei *Gramme*-Maschinen verwendet. Die Wicklung derselben bestand aus Draht von 0,4 mm Durchmesser. Leider gelangen aus verschiedenen Gründen nur wenige Messungsreihen der Prüfungs-Commission vollständig. Eine Reihe gab folgende Resultate:

Widerstand der Leitung	950,2 Ohm.
„ des Stromerzeugers	453,1 „
„ „ Elektromotors	453,4 „
Stromstärke	0,519 Ampère.
Spannung am Elektromotor	850 Volt.
Elektr. Arbeit des Elektromotors	0,433 Pferdest.
„ „ „ Stromerzeugers (berechnet)	1,13 „
Nutzarbeit am Elektromotor	0,25 „
Elektrischer Nutzeffect (berechnet)	38,4 %.
Mechanischer Nutzeffect (berechnet)	22,1 %.

Die in München erhaltene Nutzarbeit setzte mittelst einer Centrifugalpumpe einen 2,5 m hohen Wasserfall in Betrieb.

Besser gelangen die neuen

183. **Experimente von Marcel Deprez im Bahnhofe du Nord in Paris und in Grenoble.** Der Stromerzeuger war eine *Gramme*-Maschine, welche von *Marcel Deprez* für die Zwecke der

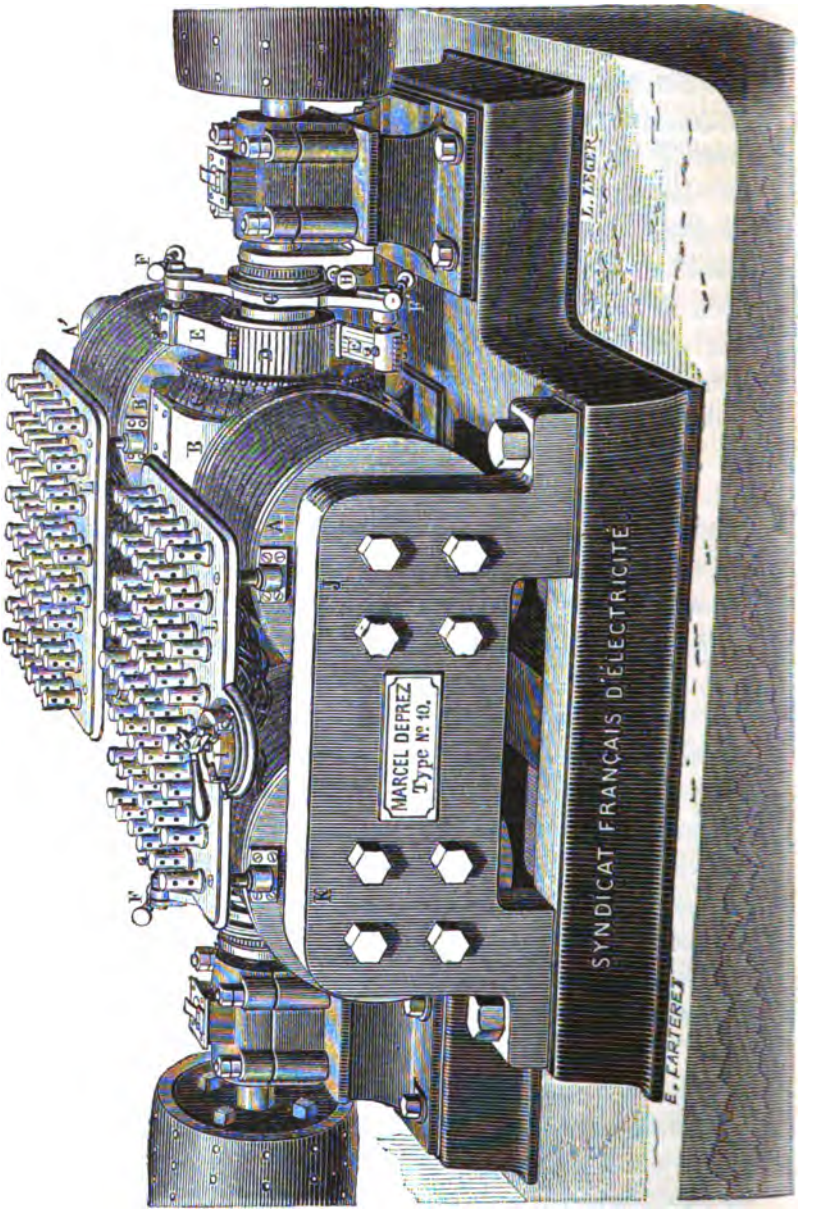
Digitized by Google

elektrischen Kraftübertragung modificirt worden ist und welche wir wegen ihres historischen Interesses in Fig. 419 abbilden. Sie besteht im Wesentlichen aus zwei hufeisenförmigen Elektromagneten A B, A' B', welche ihre ungleichnamigen Pole B B' einander zukehren. Es entstehen dadurch zwei magnetische Felder, welche natürlich auch eine doppelte Armatur C erfordern. Beide Ringe besitzen besondere Antriebrollen und Collectoren D, so dass sie ganz unabhängig von einander arbeiten. Die Elektromagnete haben doppelte Wicklung, um nach S. 371 constante Spannung des Stromes zu erzielen. Die Verbindungen der Armatur, der Elektromagnete und der Leitungen unter einander werden mit Hülfe der zahlreichen Klemmen, welche über den Maschinen auf den beiden Tischen L L' angeordnet sind, ausgeführt. Der Ausschalter J kann die ganze Installation momentan ausser Betrieb setzen. *Deprez* rühmt von seiner Maschine, dass sie schon mit relativ schwachen Strömen ein sehr intensives magnetisches Feld liefere und hierin alle bis jetzt construirten Maschinen weit hinter sich lasse. Für das Canalisationssystem von *Deprez* ist das sehr wichtig, weil ein gewisser Theil des magnetischen Feldes vom Hauptstrom selbst erzeugt werden muss. In Folge dieses Umstandes kann man nur schwache Ströme mit hohen Spannungen und Maschinen mit dünnem Draht und viel Widerstand verwenden. Nach den Angaben von *Deprez* war in den Versuchen auf der Nord-Eisenbahn die Intensität des Stromes 2,5 Ampère und der Widerstand der Elektromagnete der Maschine 20 Ohm. Die zur Erzeugung des magnetischen Feldes verbrauchte Energie erreichte kaum $^1/_6$ Pferdestärke.

Bei den Versuchen im Bahnhof du Nord in Paris waren Stromerzeuger und Elektromotor neben einander aufgestellt und je ein Pol derselben durch einen dicken Draht verbunden. Zwischen den beiden anderen Polen war die Lei-

Digitized by Google

Fig. 419.



Elektro-Motor (La Génératrice) von Marcel Deprez.

Digitized by Google

tung eingeschaltet, welche aus einer 17km langen Telegraphenlinie mit 4mm Eisendraht und 160 Ohm Widerstand gebildet war. Diese Schaltung war für den Nutzeffect sehr günstig, viel günstiger, als wenn die Maschinen in einer Distanz von 8,5km aufgestellt und durch eine doppelte Telegraphenleitung von gleicher Länge verbunden wären. Im erstern Falle circulirt in beiden Maschinen absolut dieselbe Stromstärke, im zweiten Falle dagegen, der allein praktische Bedeutung hat, wird wegen des Stromverlustes auf der Linie der Elektromotor eine erheblich kleinere Stromstärke besitzen und entsprechend weniger Arbeit leisten können.

Die Académie des Scienes ernannte eine Commission, bestehend aus den Herren *Bertrand*, *Tresca*, *de Lesseps*, *de Freycinet* und *Cornu*, um den Versuchen beizuwohnen und über dieselben Bericht zu erstatten. Dem Letztern[1]) entnehmen wir folgende Tabelle über die Resultate der Messungen:

Versuch. Nr.	Stromerzeuger.				Elektromotor.				Stromstärke. *Ampère.*	Widerstand der Leitung (berechnet). *Ohm.*	Nutzeffect.	
	Tourenzahl.	Spannung. *Volt.*	Elektromotorische Kraft. *Volt.*	Totalarbeit. Pferdestärke.	Tourenzahl.	Spannung. *Volt.*	Elektromotorische Kraft. *Volt.*	Nutzarbeit. Pferdestärke.			Mechanischer. %	Elektrischer. %
1	378	722	855	3,838	104	321	116	0,578	2,39	167	0,151	0,136
2	370	745	888	3,854	88	355	138	0,489	2,52	155	0,127	0,155
6	923	2086	2229	10,556	709	1685	1468	3,939	2,52	159	0,372	0,658
7	850	1937	2083	9,514	643	1479	1258	3,572	2,57	179	0,375	0,604
8	1024	2338	2480	12,267	799	1994	1779	4,439	2,50	138	0,362	0,717

In Grenoble[2]) beabsichtigt man die Wasserkräfte in den Gebirgen der Dauphiné nutzbar zu machen und es wählte

1) Comptes rendus, 19. Fevr. 83 u. ff.

2) Comptes rendus, 10. Sept. 1883.

Digitized by Google

daher *Marcel Deprez* diesen Ort zur Ausführung neuer Experimente. Zwischen Grenoble und Vizille wurde eine 14km lange Leitung aus Bronzedraht von 2mm Durchmesser gelegt. Der Widerstand der Leitung war 167 Ohm und derjenige des Stromerzeugers 56,7 Ohm, des Motors 97 Ohm. Die übertragene Arbeit betrug im Maximum 7 Pferdestärken mit einem mechanischen Nutzeffect von durchschnittlich 50% (im Maximum 62,3%).

Wenn man diese Resultate mit den Zahlen vergleicht, welche die Theorie liefert, so sieht man, dass *Marcel Deprez* schon nahe an das Maximum herangekommen ist, das überhaupt geleistet werden kann, und seine Kraftübertragung als eine vollkommene Leistung taxirt werden muss.

Wenn alle Messungen richtig sind so hat er sogar die in §. 180 angegebenen Nutzeffecte überschritten; das erklärt sich daraus, dass *Deprez* Spannungen von über 2000 Volt anwendet, während wir eine solche von 1500 Volt als Norm angenommen haben. Ausserdem ist der Umsetzungscoëffizient seiner Maschinen möglicherweise grösser als 85% wie wir vorausgesetzt haben. Es ist zu bedauern, und stimmt etwas misstrauisch, dass gar keine elektrischen Messungen in Grenoble ausgeführt wurden.

184. Anwendungen. Eine der ersten praktischen Anwendungen, die Kraft einer Maschine auf elektrischem Wege in die Entfernung zu übertragen, wurde im Jahre 1876 in den Artillerie-Werkstätten von St. Thomas d'Aquin gemacht, in denen seit dieser Zeit eine höchst subtile Theilmaschine mit einer weit entfernten Dampfmaschine durch Vermittlung zweier *Gramme*'schen Maschinen betrieben wird, mit der allerdings nur geringen Kraft von kaum einem Kilogramm-Meter. Grossartiger ist schon die Anwendung, welche im Jahre 1878 der Ingenieur *Cadiat* in Paris (Boulevard Richard Lenoir) machte.[1]) Am Ende des Fabrikgebäudes befand

1) *Carl,* Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre, I, S. 287.

Digitized by Google

sich eine Werkstätte für galvanische Verkupferung, in welcher eine *Gramme*'sche Maschine mittelst einer Locomobile in Betrieb gesetzt wurde. In einem andern Theile des Gebäudes befand sich eine mechanische Werkstätte, die mittelst einer achtpferdigen Dampfmaschine betrieben wurde. Diese beiden 150m von einander entfernten Ateliers wurden durch zwei Kupferdrähte, die über den Hof weg wie Telegraphendrähte auf Isolatoren geführt wurden, mit einander verbunden. Auf jeder Station war eine *Gramme*'sche Maschine in diese Leitung eingeschaltet, von denen die neben der achtpferdigen Dampfmaschine aufgestellte und von ihr getriebene Maschine als Stromgeber diente, die andere aber als Elektromotor an die Stelle der Locomobile trat, um die galvanoplastische Maschine in Gang zu halten. Ein Wärter für die Locomobile wurde dadurch überflüssig und die ganze Einrichtung bewährte sich in jeder Beziehung.

Eine weitere Anwendung von der elektrischen Kraftübertragung machten *Chrétien & Felix* in der Zuckerfabrik zu Sermaize (Departement der Marne). Der grösste Theil der in dieser Fabrik verarbeiteten Zuckerrüben wurde durch Schiffe auf dem Marne-Rhein-Canal zugeführt. Diese Schiffe wurden im Hafen von Sermaize, der in gerader Linie nur 100m von der Fabrik entfernt ist, ausgeladen. Die Fabriklocale wurden seit vier Jahren während der Arbeitsperiode durch elektrisches Licht erleuchtet und es wurde dann die Einrichtung getroffen, die *Gramme*'sche Lichtmaschine bei Tage zum Ausladen der Schiffe, zur Nachtzeit aber zur Beleuchtung der Fabrikräume zu benutzen. *Chrétien* liess zu diesem Zwecke eine den Baggermaschinen ähnliche Vorrichtung herstellen. Eine mit Schaufeln versehene Kette ohne Ende läuft in beständiger Bewegung um eine Scheibe; sie steigt in das Innere des Schiffes hinab, geht in einer schiefen Ebene auf den Quai hinauf und auf der anderen Seite der Scheibe in entgegengesetzter Richtung wieder zum

Digitized by Google

Schiffe hinab. Die Schaufeln werden in dem Moment, wo sie durch das Schiff gehen, ohne in ihrer Bewegung einzuhalten, von Arbeitern mit Rüben angefüllt. Im höchsten Puncte ihres Weges werden die Schaufeln umgekehrt, die Rüben fallen in eine Rinne und von hier in einen Wagen, der sie zur Fabrik bringt. Diese Hebemaschine (Elevator) wird durch einen *Gramme*'schen Elektromotor in Bewegung gesetzt; letzterer steht durch zwei Kupferdrähte von 3mm Dicke und etwa 100m Länge mit einer zweiten *Gramme*'schen Maschine, dem Stromgeber, in Verbindung, der seine Bewegung von der Dampfmaschine der Fabrik erhält.

Mit dieser Einrichtung wurden während der Arbeitsperiode 1878—1879 400 Tonnen Rüben ausgeladen, und es wurde beabsichtigt, für die folgende Campagne neue kräftigere elektrische Maschinen aufzustellen, um damit 2000 Tonnen ausladen zu können.

Durch solche Erfolge ermuthigt, haben *Chrétien & Felix* die Kraftübertragung zum Betriebe von Pflug-Haspeln anzuwenden versucht, um mittelst derselben ein Feld in der Nähe der Fabrik von Sermaize umzupflügen. Zur Rechten und Linken des zu bearbeitenden Feldes sind auf vierrädrigen Wagen montirte Dynamo-Maschinen aufgestellt, welche als Haspel wirken und auf eine Trommel ein Drahtseil aufrollen, an welchem ein Pflug mit vier Scharen befestigt ist. Von diesen Scharen sind immer nur zwei gleichzeitig in Thätigkeit; die beiden anderen stehen dann leer in der Luft. Ist etwa der linke Haspel in Thätigkeit, so geht der Pflug von rechts nach links und die rechts liegenden Scharen ziehen ihre Furchen. Ist der Pflug bei dem linken Haspel angekommen, so legt man seine Scharen nach der anderen Seite um; man setzt dann den rechten Haspel in Bewegung, der Pflug geht von links nach rechts und zieht neue Furchen in entgegengesetzter Richtung.

Die beiden Haspel werden durch die auf ihnen befestigten

Digitized by Google

Dynamo-Maschinen bewegt, welche den Strom von zwei anderen in der Fabrik fest aufgestellten ähnlichen Maschinen (den Stromgebern) erhalten. Mittelst eines Commutators kann man nach Belieben den rechten oder den linken Haspel in Drehung versetzen. Die vierrädrigen Wagen, welche die Haspel tragen, können überdies in gleicher Weise bewegt werden; es ist hierzu nur erforderlich, zwei Räder einzurücken, um die Bewegung der Dynamo-Maschinen nicht mehr auf die Haspel, sondern auf die Radachsen der Wagen zu übertragen, die Räder zu drehen und die Wagen von der Stelle zu bringen. In dieser Weise werden die Wagen nicht bloss nach jedem Gange des Pflugs verstellt, um neue Furchen neben den vorhergehenden zu ziehen, sondern auch am Morgen, um dieselben auf das Feld zu bringen, und des Abends, um sie unter ein Schutzdach zu ziehen.

Eine der interessantesten Anwendungen der Kraftübertragung durch Elektricität war zum ersten Mal auf der Gewerbe-Ausstellung zu Berlin im Jahre 1879 zu sehen.[1]) *Dr. W. Siemens* hatte daselbst eine

185. **Elektrische Eisenbahn** in Betrieb, welche aus einer 300 m langen, in sich selbst geschlossenen schmalspurigen Schienenbahn bestand und die im Laufe des Sommers über 100 000 Personen beförderte. Auf dieser Bahn circulirte eine kleine elektrische Locomotive mit drei angehängten Personenwagen in einer Geschwindigkeit von 3 bis 4 m. Die Laufschienen der Bahn bildeten die eine Leitung zu der im Maschinenraume der Ausstellung stehenden Dynamo-Maschine grösserer Sorte, während eine zwischen diesen Schienen angebrachte und möglichst von ihnen isolirte Mittelschiene das Ende der anderen Leitung bildete. Die Loco-

1) Elektrotechnische Zeitschrift, I, S. 22 und 53. Vgl. den Vortrag von *Dr. W. Siemens:* „Ueber die dynamo-elektrische Maschine und deren Verwendung zum Betriebe von elektrischen Eisenbahnen."

Digitized by Google

motive oder der Elektromotor war im Wesentlichen dem im Maschinenraume stehenden festen dynamo-elektrischen Stromgeber gleich; ein Drahtende des rotirenden Drahtsystems stand durch die Räder der Locomotive mit den Laufschienen und dadurch mit dem einen Pole des Stromgebers in leitender Verbindung, während das andere Ende dieses Drahtsystems durch schleifende Contactbürsten beständig mit der isolirten Mittelschiene und dadurch mit dem andern Pole des Stromgebers communicirte. Wenn der Stromkreis geschlossen und der Stromgeber mit etwa 600 bis 700 Umdrehungen pro Minute continuirlich gedreht wurde, so setzte sich die Locomotive mit grosser Kraft in Bewegung und durchlief mit constanter Geschwindigkeit die Bahn. Die Locomotive zog an ihrem Zughaken mit etwa 200kg, wenn die Wagen festgehalten wurden, und mit 70 bis 80kg während der Fahrt bei 3m Geschwindigkeit, was etwa einer Arbeitsleistung von drei effectiven Pferdekräften entspricht. Auffallend war hierbei, dass diese Geschwindigkeit sich nur wenig änderte, wenn anstatt der gewöhnlichen Belastung der Personenwagen (mit 18 Personen) eine doppelte und selbst dreifache Belastung eintrat, und dass die Kraft des ersten Anziehens eine sehr bedeutende war; doch hat *Siemens* nachgewiesen, dass dieses eine Eigenthümlichkeit der elektrischen Kraftübertragungen überhaupt ist.

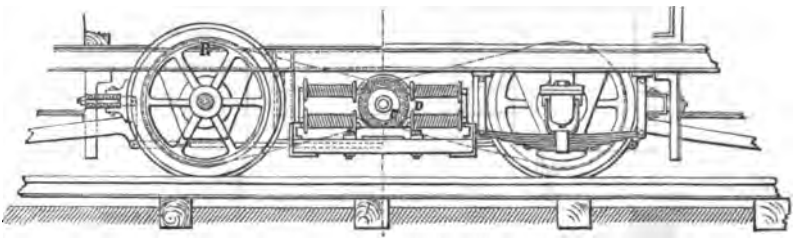
Durch die kleine Bahn der Gewerbe-Ausstellung in Berlin war das Interesse für dieses neue Transportmittel in den weitesten Kreisen wachgerufen und nahm in den vielfachen Anfragen aus allen Theilen der Welt nach Anlage- und Betriebskosten von elektrischen Bahnen eine so praktische Form an, dass die Firma *Siemens & Halske* zu einer kleinen Anlage der Art auf eigene Kosten und ohne Aussicht auf gewinnbringende Exploitation schreiten musste, damit nicht ausserhalb Deutschlands die erste ernsthafte Anwendung zur Ausführung käme. Hierzu bot sich in sofern ein günstiger

Digitized by Google

Umstand dar, als sich zwischen dem Bahnhof Lichterfelde der Anhaltischen Bahn und der Haupt-Cadettenanstalt in Gr.-Lichterfelde noch der grössere Theil des Bahnkörpers einer ehemaligen Material-Transportbahn befand, welche während des Baues des Cadettenhauses mit normalspurigen Dampflocomotiven befahren worden war, nach Herstellung des Gebäudes aber zur Schaffung eines elektrischen Verkehrmittels überlassen wurde.

Hieraus ergab sich die Disposition (siehe Fig. 420), dass der durch die im Maschinenhause stehende elektro-dynamische Maschine erzeugte Strom der Schiene durch eine kurze mittelst Kabel hergestellte Leitung zugeführt, alsdann zum

Fig. 420.



Der elektrische Wagen nach Siemens-Halske. (Längsschnitt.)

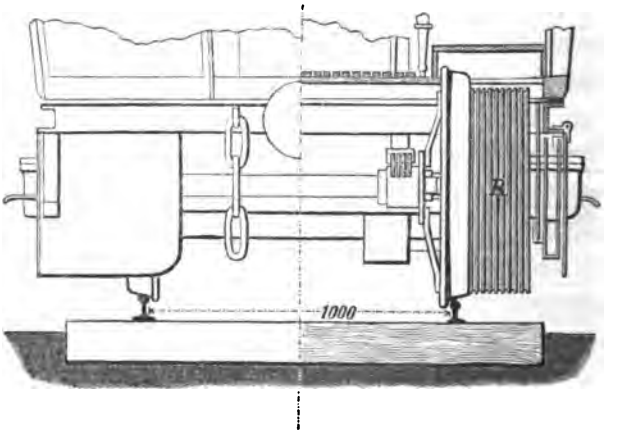
Elektromotor hingeleitet und von diesem durch die andere Schiene und ein Kabel zum Stromgeber zurückgeführt wird. Dieses System der Stromleitung hat allerdings eine technische Unbequemlichkeit im Gefolge, nämlich die erforderliche Isolirung des Wagengestelles von den Radkränzen, welche durch die Verwendung von Holzscheibenrädern erzielt wird. Damit aber der Strom von der Schiene bezw. dem Radkranz zu dem zwischen den Achsen des Wagens (Fig. 420) befestigten Elektromotor gelangen kann, führen vom Radkranze aus zu einer auf der Holzscheibe des Rades festsitzenden Metallbüchse Metallstreifen, gegen welche Federn schleifen, welche die unmittelbare Verlängerung eines Poles

Digitized by Google

des Elektromotors, der „elektrischen Locomotiv-Maschine“ sind. (Vgl. Fig. 421.)

Als besondere Eigenschaften des elektrischen Wagens, der im Allgemeinen einem Pferdebahnwagen ähnlich construirt ist, sind noch zu erwähnen: die Construction einer elektrischen Umsteuerung der Maschine, sowie eine besondere Vorrichtung, durch welche sowohl die Fahrgeschwindigkeit der Locomotive innerhalb gewisser Grenzen geregelt werden kann, als auch die nachtheiligen oft mit Funkenbildung in

Fig. 421.



Der elektrische Wagen nach Siemens-Halske. (Querschnitt.)

den Maschinen verbundenen Einwirkungen der plötzlichen Stromunterbrechung vermieden werden.

Die Disposition der ganzen Anlage ist aus den dem Berichte[1]) über die Excursion des Vereins für Eisenbahnkunde in Berlin am 21. Mai 1881 beigegebenen Figuren zu ersehen. Seitdem hat die Lichterfelder Bahn ohne wesentliche Störung mit grösster Regelmässigkeit ihren Dienst gethan; der elektrische Wagen in Lichterfelde macht seine Touren im regelmässigen Anschlusse an die sämmtlichen Personen-

1) *Glaser's* Annalen für Gewerbe und Bauwesen 1881, Bd. 8, Heft 12.

Digitized by Google

züge der Anhalter Bahn. Er soll mit der concessionell zulässigen mittleren Geschwindigkeit von etwa 20km fahren; er kann jedoch 35—40km Geschwindigkeit in der horizontalen und geraden Strecke bei voller Besetzung des Wagens mit 26 Personen (4800kg Totalgewicht) erreichen, wenn bei normalem Gange der Dampfmaschine nichts zur Mässigung der Geschwindigkeit geschieht.

Es hat sich bereits eine Gesellschaft gebildet, um eine Ausdehnung der Bahn bis zum Mittelpuncte des Dorfes Lichterfelde und zum Steglitzer Bahnhofe der Potsdamer Eisenbahn herbeizuführen. Die Firma *Siemens & Halske* ist ferner gegenwärtig mit der Einführung des elektrischen Betriebes der Pferdebahnwagen von Charlottenburg bis zum Spandauer Bock beschäftigt, bei welchem die Seilbahnleitung zur Verwendung kommen wird.

Worin diese besteht, wird aus folgendem Passus erhellen, den wir des grossen Interesses wegen einem Vortrage des genialen Erfinders der elektrischen Bahn, des Herrn *Dr. W. Siemens*, entnehmen:

„Die beiden in Lichterfelde verwendeten Maschinen sind, obwohl an Grösse und in der Anordnung der Constructionstheile verschieden, dennoch beide gleichmässig, sowohl zur Strom- als zur Kraftentwickelung anwendbar. Wenn der elektrische Waggon mit angemessener Geschwindigkeit auf den Schienen durch Pferde- oder Dampfkraft fortbewegt würde, so würde die stationäre elektrische Maschine durch den von der elektrischen Waggon-Maschine erzeugten Strom in Drehung versetzt werden und eine Arbeit leisten können.

Diese doppelte Verwendbarkeit derselben Maschine hat ein mehrfaches Interesse: Die durch Strom getriebene Maschine ist nämlich stets auch gleichzeitig unbeabsichtigter Weise eine Maschine, welche Strom erzeugt. Nun ist dieser Strom dem die Bewegung erzeugenden entgegengesetzt gerichtet, schwächt also letztern, zieht den Nutzeffect beträchtlich herab und wurde, so lange der Kraftverlust beim Betriebe elektromagnetischer Kraftmaschinen als ein unnützer Consum von kostspieligen Materialien in galvanischen Batterien sich darstellte, als das hauptsächlichste Hinderniss der praktischen Anwendung solcher Kraftmaschinen mit Recht angesehen. Der Grad dieser Gegenstrom-Entwickelung in der Locomotive, also auch die Kraft derselben, hängt

Digitized by Google

wesentlich ab von der Geschwindigkeit, mit welcher die Locomotiv-Maschine sich dreht, derart, dass bei gleichbleibender Kraftentwickelung des die dynamo-elektrische Maschine treibenden Motors innerhalb gewisser praktischer Grenzen mit zunehmender Geschwindigkeit die Kraft sich verringert, mit abnehmender sich vergrössert, wobei die verrichtete Arbeit sich selbstthätig ziemlich auf derselben Höhe hält. Die Versuche auf der Lichterfelder Bahn bestätigen dies auch vollständig; der Waggon, sich selbst überlassen, nimmt in der horizontalen Strecke bei sinkender Zugkraft eine immer wachsende Geschwindigkeit an, bis zu dem Augenblicke, in welchem die Differenz zwischen dem die Bewegung erzeugenden Strome und dem Gegenstrome constant wird, womit die Bewegung des Waggons eine gleichmässige wird; und in der Steigung verlangsamt er bei steigender Zugkraft seine Bewegung, bis die Gegenstrom-Entwickelung sich entsprechend gemässigt hat, womit ebenfalls die gleichmässige Geschwindigkeit sich herstellt; geht er — schliesslich — im Gefälle und wird ihm durch das Gefälle eine zusätzliche, nicht durch die Stromeswirkung erzeugte Geschwindigkeit zugeführt, so steigt auch in erhöhtem Grade die Gegenstrom-Entwickelung, welche von einer gewissen Grenze an einen bremsenden Einfluss ausübt, indem die Locomotiv-Maschine mehr als stromerzeugende, dynamo-elektrische Maschine wirkt und auf die stationäre Maschine unmittelbar zurückwirkt.

Aus dieser gegenseitigen Einwirkung der beiden Maschinen aufeinander ergibt sich besonders deutlich ihre Bindung zu einem Systeme, in welchem die Eigenschaften der verbindenden Theile, nämlich der Stromleiter, nicht gleichgültig sein können. In der That bestehen gewisse Relationen zwischen den inneren Stromleitern, den Drahtwickelungen innerhalb der Maschinen und den äusseren Stromleitern; es soll der Widerstand, welchen die letzteren dem Durchgang des Stromes entgegensetzen, nicht grösser sein, als der Widerstand der Maschinen. Ist dies der Fall, so ist das Maass der Kraftübertragung und bezw. des Kraftverlustes als ein normales anzusehen; ist der Leitungswiderstand der äusseren Stromleiter grösser, so ist der Kraftverlust grösser. Wenn nun die Maschinen bezüglich ihrer Leitungswiderstände als etwas Gegebenes angenommen werden, so ergibt sich bei Projectirung einer Anlage die Forderung, Leitungen zu verwenden von analogem Leitungswiderstande; die Form der Leitungen kann eine sehr verschiedene sein, wenn nur die Möglichkeit vorhanden ist, ihnen einen genügenden Grad von Isolation zu geben und sie in zuverlässiger Weise mit der elektrischen Locomotive in leitende Verbindung zu setzen. Der verschiedenen Formen der Stromleiter, welche derartigen Ansprüchen genügen, gibt es eine sehr grosse Menge.

Als nächstliegend erscheint die Verwendung der Laufschienen, welche aus Gründen der Tragfähigkeit einen so bedeutenden Quer-

Digitized by Google

schnitt zu haben pflegen, dass bei mehreren Kilometern Entfernung der Strom keinen grössern Widerstand in ihnen findet, als in den Drahtleitungen der Maschinen, was übrigens in jedem Falle rechnungsmässig ermittelt werden muss. Es leuchtet nun ohne Weiteres ein, dass der Kraftverlust von der Entfernung zwischen Locomotive und Aufstellungsort der Stromerzeugungs-Maschine unabhängig ist, wenn nur die Leitungsfähigkeit der Stromleiter entsprechend vergrössert wird, so dass der Gesammt-Leitungswiderstand das bestimmte theoretisch gebotene Maass nicht überschreitet. Diese Vergrösserung kann bewirkt werden durch Hinzufügung von parallelen Leitern zu den Laufschienen, durch Hinzufügung ganz separater Zuleitungsdrähte unter gänzlichem oder theilweisem Verzicht auf die Benutzung der Laufschienen, durch Hinzunahme des metallischen Bahn-Oberbaues zur Leitung (z. B. bei Hochbahnen) oder durch andere Mittel. Diese Mittel zur Vergrösserung der Leitungsfähigkeit sind so untrüglich, dass eine aussergewöhnliche Länge einer elektrischen Bahn technische Schwierigkeiten bei Eingrenzung des Kraftverlustes auf das theoretisch erreichbare Maass nicht darbietet; dagegen steigen die Ausgaben durch die unabweisliche Vergrösserung des Querschnittes der Stromleiter mit der Länge in einem directen Verhältnisse, und es ergibt sich aus diesem ökonomischen Grunde das Bedürfniss, ein Mittel zur Verfügung zu haben, durch welches auf andere Weise, als durch die erörterte Querschnitts-Veränderung, das richtige Verhältniss zwischen dem Leitungswiderstande der äusseren Stromleiter und demjenigen der Maschinen hergestellt werden kann. Dieses Mittel ist auch gegeben in der Vergrösserung des letzteren durch Verwendung grösserer Drahtquantitäten oder dünnerer Drähte zur Herstellung der Elektromagnete und der Inductionsspiralen, welchem alsdann äussere Stromleiter von geringerer Leitungsfähigkeit, also namentlich geringerem Querschnitte gegenüberstehen. Auf diese Weise ist die Frage, welche Stromleiter bei Projectirung einer elektrischen Bahn-Anlage zur Verwendung kommen sollen, mehr eine ökonomische als eine elektro-technische. Uebersehen darf hierbei allerdings nicht werden, dass elektrische Ströme, welche geeignet sind, grössere Leitungswiderstände zu überwinden, auch einen höheren Grad von Isolation erheischen, als z. B. den Schienen der Lichterfelder Bahn zu Theil geworden ist, deren Isolation einfach vernachlässigt worden ist, weil sie die ausserordentliche Einfachheit des Oberbaues und die geringen elektro-technischen Ansprüche einer auf Säulen errichteten Bahn veranschaulichen soll. Die Lichterfelder Anlage arbeitet mit einem beträchtlichen, durch Rechnung und Versuche im Voraus bekannten Stromverluste, welcher namentlich aus dem im Niveau der Strasse vor dem Cadettenhause verlegten Stücke des Geleises resultirt, woselbst der Strom namentlich bei feuchtem Wetter von der einen Schiene durch den Sand zur anderen Schiene bezw. zur Erde geht.

Digitized by Google

Die Isolationsmittel, welche angewendet werden müssen und können, sobald die bedeutendere Länge einer Bahn die Anwendung von Stromleitern von geringerem Querschnitte und von Maschinen mit grösserem Widerstande wünschenswerth macht, richten sich nach den localen Umständen. Eine Säulenbahn verlangt keine besonderen Isolationsmittel; die Constructionstheile des Oberbaues selbst, also die hölzernen Schwellen, auf welche die beiden von einander isolirt zu haltenden Schienen befestigt werden, bilden das Isolationsmittel. Eine Bahn, welche einen separaten Bahnkörper hat oder auf bestehenden Strassen so angelegt ist, dass die Schienen im Allgemeinen nur die Schwellen und nur ausnahmsweise den Erdboden berühren, kann, wie das Lichterfelder Beispiel zeigt, schon eine mehrere Kilometer lange Ausdehnung haben, ohne besondere Isolationsmittel zu verlangen. Uebrigens sind derartige Mittel in der Form von Schienenstühlen aus Hartglas, von Asphalt-Isolatoren zwischen Schiene und Schwelle, von Asphaltbekleidungen der Schienen bereits mit Erfolg versucht worden. Die eigentliche Strassenbahn dagegen, deren Schienen bei sehr nassem Wetter mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehen, verlangt eine andere Art der Behandlung; das jederzeit sicher wirkende Mittel zur Vermeidung von Stromverlust besteht in der Herstellung einer sogenannten Draht- oder Drahtseil-Leitung auf Isolatoren besonderer Form an Telegraphenstangen in Verbindung mit einem auf diesen völlig isolirten Stromleitern laufenden, von dem Waggon an einem Leitungsseile mitgezogenen kleinen Contactwagen. Dieses Mittel ist von universeller Anwendbarkeit, so dass auch dem elektrischen Betriebe von Strassenbahnen an Stelle des Pferdebetriebes technische Schwierigkeiten nicht im Wege stehen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch die Benutzung der Schienen als Stromleiter, namentlich bei mässigen Längen von Strassenbahn-Linien trotz des Stromverlustes immer noch einen ökonomisch genügenden Betrieb gestattet, namentlich, wenn bei Neu-Anlagen die Schienen mehr oder weniger isolirt verlegt werden können. Bei Tunnel- und Grubenbahnen, bei denen die Tunnelwandungen eine häufige Unterstützung der besonderen Leiter gestatten, sowie bei solchen längeren Bahnen auf offener Strecke, bei denen eine grosse Geschwindigkeit der Fortbewegung verlangt wird, kommen anstatt der isolirten suspendirten Draht- oder Kabel-Leitungen passend construirte Schienen in Anwendung, die ein für grosse Geschwindigkeiten besser geeignetes, vollständiges Geleise für den Contactwagen bilden.

Die durch die Betrachtung der elektrischen Bahn oft hervorgerufene Frage, ob und wie weit auf denselben als Stromleiter dienenden Schienen oder, allgemein gesagt, in demselben Stromkreise mehrere Locomotiven gleichzeitig bewegt werden können, ist sowohl theoretisch als praktisch bejahend zu beantworten; es handelt sich auch hier lediglich um Herstellung des passenden Verhältnisses der

Digitized by Google

Leitungswiderstände der äusseren Stromleiter zu denjenigen der Maschinen; hinzuzufügen wäre noch, dass gerade ein solcher Betrieb, bei welchem die Nutzlast weniger zu grossen Zügen zusammengestellt als durch viele einzeln laufende elektrische Wagen transportirt wird, dem Wesen der elektrischen Beförderung besonders entspricht, da die elektrische Locomotiv-Maschine nicht, wie eine Dampflocomotive, an und für sich ein bedeutendes Adhäsionsgewicht besitzt. Da, wo die Umstände die Beförderung der Nutzlast in Zügen erheischen, besteht naturgemäss auch kein Hinderniss des elektrischen Betriebes, dass die eigentlichen elektrischen Locomotiven, welche also keinerlei Nutzlast selbst tragen, sondern nur zum Ziehen bestimmt sind, als Vereinigung mehrerer grösserer oder kleinerer Maschinen oder auch als sehr starke Einzelmaschinen construirt werden können."

186. Die elektrische Post. Die durchaus gelungenen Versuche mit der elektrischen Eisenbahn haben überzeugend nachgewiesen, dass die Elektricität mit Vortheil zur Beförderung von Lasten auf Schienen benutzt werden kann, und haben denselben genialen Erfinder der dynamo-elektrischen Maschine ermuthigt, Entwürfe zur Herstellung von elektrischen Hochbahnen nach Art der americanischen Elevated Railroads oder Säulenbahnen in sehr verkehrreichen Städten, sowie einer elektrischen Post als Ersatz oder Ergänzung der pneumatischen Rohrpost auszuarbeiten.

Die elektrischen Hochbahnen sollen in sehr bevölkerten Städten, auf Säulen erbaut, ein neues Communicationsnetz für einen schnellen Personen- und Güterverkehr herstellen, welches den Strassenverkehr nicht hindert und nicht durch ihn gehindert wird. Wenn man gegenwärtig in New-York, Berlin und in anderen Städten solche erhöhte Schienenbahnen mit den schweren Dampflocomotiven befährt, ohne dass Unglücksfälle dabei vorkommen, so dürfte der Betrieb solcher Bahnen mit den viel leichteren Dynamo-Maschinen weit einfacher sich gestalten und eine noch grössere Sicherheit gewähren.

Ein Hauptumstand, der hier in Betracht kommen wird, ist der, dass ein elektrischer Zug in viel kürzerer Zeit als etwa ein Dampfzug von der grössten Geschwindigkeit zum

Digitized by Google

Stillstand gebracht werden kann. Prof. *G. Forbes* behauptet, ein elektrischer Zug brauche nur 7 Secunden, um eine Geschwindigkeit von 40—50km zu erreichen und wieder zum Stillstande zu kommen. Auch ist es möglich, viel grössere Steigungen zu überwinden (selbst bis zu 1 : 5), bei denen wir jetzt zum Zahnrad oder Seil greifen müssen. Bei einem elektrischen Zuge können wir jedes Rad zu einem Triebrad machen und so die Adhäsion des ganzen Zuges zur Ueberwindung ausnützen, indem wir jeden Wagen mit einer kleinen Dynamo-Maschine versehen, während sonst nur die Adhäsionskraft der Locomotivräder ausgenutzt wird. Schliesslich kann beim Wegfall der schweren Locomotive der ganze Unterbau leichter angelegt werden."

Aus diesem Grunde werden in Paris, London, Wien ernsthafte Projecte gemacht, um die elektrischen Bahnen als Stadtbahnen, sei es oberirdisch oder unterirdisch, zu verwenden.

Dass das Problem der elektrischen Bahnen wirklich vollkommen, auch für lange Strecken, gelöst ist, zeigt die vor Kurzem in Irland übergebene Bahn von 30km Länge.

Die elektrische Post soll einen schnellen Briefverkehr für grosse Entfernungen ermöglichen, wie ihn die Rohrpost gegenwärtig für kleine Entfernungen innerhalb des Gebietes einer Stadt vermittelt. Eine solche Post würde aus einer schmalspurigen verdeckten Schienenbahn bestehen, die auf oder neben einem Eisenbahndamm herläuft und auf welcher kleine leichte vierrädrige, mit Briefen angefüllte Wagen mit etwa 30cm hohen Rädern laufen. Das eine Schienengeleise ist von der Erde isolirt, das andere steht durch die Tragsäulen mit der Erde in Verbindung; die Achsen der Wagenräder bestehen aus zwei von einander isolirten Theilen, von denen der eine Theil die Drehungsachse einer kleinen *Siemens*'schen Dynamo-Maschine bildet, so dass jeder Umdrehung des rotirenden Cylinders eine Umdrehung der

Digitized by Google

Wagenräder entspricht. Wird daher ein stehender dynamo-elektrischer Stromgeber an irgend einer Stelle der Bahn zwischen die beiden Schienen eingeschaltet, so bildet die eine Schiene und die darauf befestigte metallische Bahnbedeckung die eine isolirte Leitung, während die Erde vermittelst der eisernen Tragsäulen und der zweiten Schiene die Rückleitung bildet. Die leitende Verbindung dieser Schienen mit den Umwindungsdrähten des Wagens (des Elektromotors) wird durch die Räder und die beiden Theile der Radachse hergestellt. Es würde da genügen, alle 20km eine stehende Dynamo-Maschine als Stromgeber aufzustellen, damit die als Briefbehälter dienenden Wagen 800 bis 1000 Radumdrehungen machen und folglich mit Eisenbahngeschwindigkeit ihre Strecke durchlaufen. Sind die stehenden Dynamo-Maschinen erheblich stärker wie die Wagenmaschinen, so wird die Geschwindigkeit eines Wagens sich nicht merklich vermindern, wenn mehrere Wagen gleichzeitig auf derselben Bahn laufen, und es können dann Briefwagen in kurzen Zeitintervallen nach einander abgelassen werden.

Eine weitere Anwendung hat die Kraftübertragung durch dynamo-elektrische Maschinen in dem von der Firma *Siemens & Halske* construirten

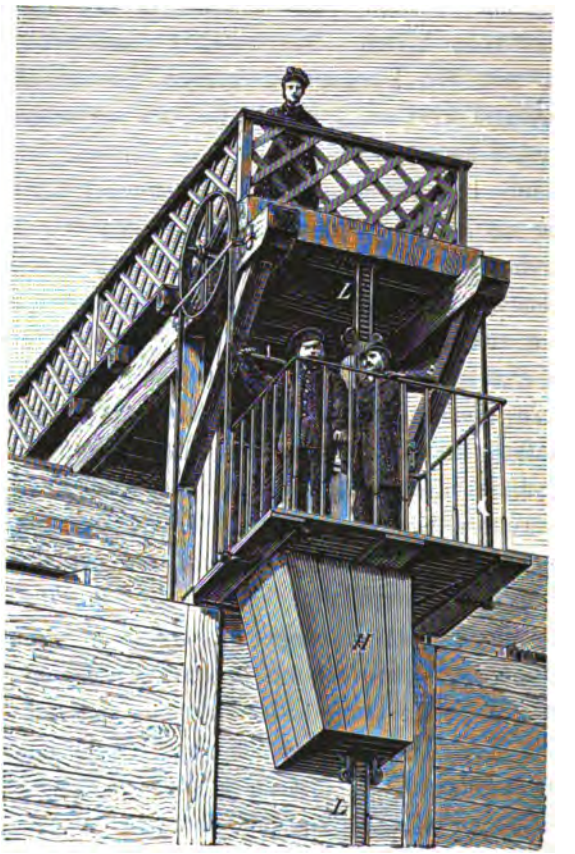
187. **Elektrischen Aufzuge** für Personen gefunden.[1]) Aufzüge von Personen, wie sie in grossen Hotels und Geschäftslocalen häufig eingerichtet werden, um den Gästen die Mühe und den Zeitaufwand des Treppensteigens zu ersparen, werden bisher fast ausnahmslos hydraulisch eingerichtet. Seilaufzüge, wie sie zur Hebung von Waaren u. s. w. allgemein benutzt werden, erachtet man als nicht sicher genug für die Personenbeförderung. Der hydraulische Aufzug ist aber sehr kostspielig in der Anlage und häufig kaum

1) Nach dem Vortrage des Herrn Geh. Regierungsraths *Dr. Siemens*, „Der elektrische Aufzug", gehalten in der Sitzung des Elektrotechnischen Vereines vom 26. October 1880.

Digitized by Google

ausführbar, da er die Einsenkung eines Druckrohres von gleicher Tiefe wie die grösste Höhe der beabsichtigten Hebung bedingt. Auch der Betrieb solcher hydraulischen Aufzüge ist gewöhnlich sehr kostspielig, da jede einzelne

Fig. 422.



Der elektrische Aufzug.

Hebung die Füllung des Druckrohres mit unter hohem Druck stehendem Leitungswasser erfordert.

Der elektrische Aufzug soll nun diese Mängel des hydraulischen Aufzuges beseitigen, ohne eine geringere Sicherheit

Digitized by Google

wie dieser darzubieten. Er beruht auf der Kraftübertragung durch dynamo-elektrische Maschinen. Das geringe Gewicht einer solchen Maschine im Vergleich mit ihrer Arbeitsleistung gestattet, die Maschine auf den durch sie zu bewegenden Fahrstuhl zu setzen und ihr durch Drahtleitungen den bewegenden elektrischen Strom zuzuführen. Die Einrichtung kann also in der Weise getroffen werden, dass die Maschine an einer festliegenden Leiter oder Zahnstange gleichsam hinaufklettert und den an ihr befestigten Fahrstuhl mitnimmt. Dieser feststehenden Leiter oder Zahnstange kann man jede gewünschte Festigkeit geben, so dass eine Gefahr ihres Bruches ganz ausgeschlossen ist. Bei sehr hohen Aufzügen kann man die Zahnstange auch an den Wandungen des Gebäudes oder Schachtes beliebig oft befestigen, so dass sie sich nicht in der ganzen Länge selbst zu tragen braucht.

Der erste derartige Aufzug, der von *Siemens & Halske* in der Mannheimer Industrie-Ausstellung ausgestellt wurde und der dazu diente, das Publicum auf einen Aussichtsthurm von ungefähr 20m Höhe emporzuheben, ist nach diesen Grundsätzen gebaut.

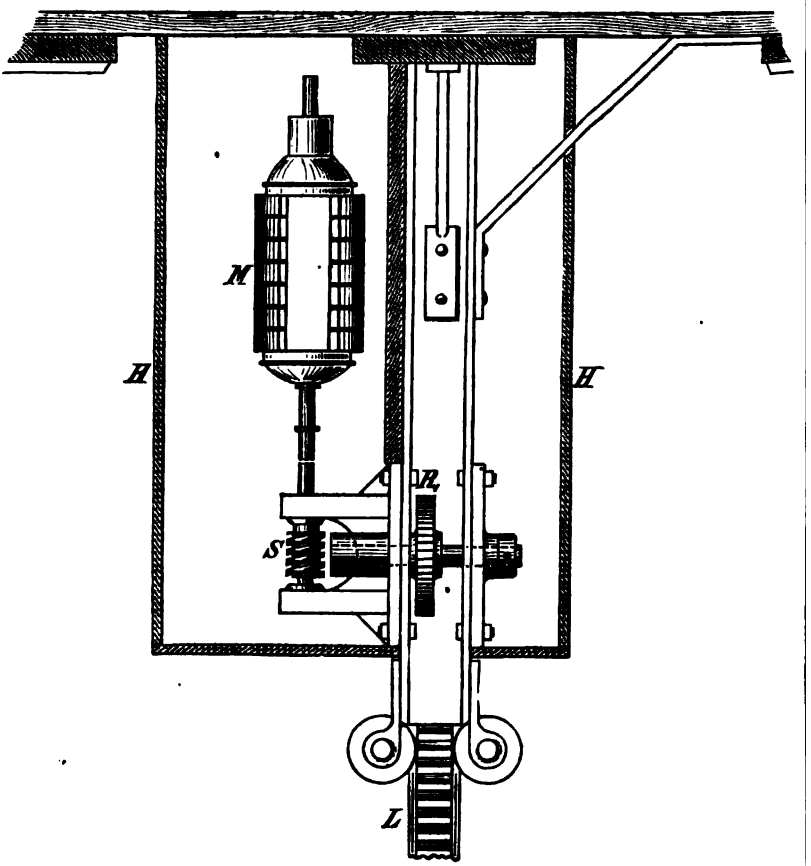
Fig. 422 zeigt den Fahrstuhl in seiner höchsten Stellung auf der Höhe des Aussichtsthurmes, und Fig. 423 erläutert die Anordnung der unter dem Fahrstuhl angebrachten dynamo-elektrischen Maschine M, einer von ihr getriebenen Schraube ohne Ende S, sowie zweier in die Leiter L eingreifenden Zahnräder R_1 und R_2. Die Leiter L wird von zwei Paar, oberhalb und unterhalb des Fahrstuhls angebrachten Rollen berührt, welche den Strom aus der Leiter L der Maschine M zuführen.

Von dieser wird der Strom zu Drahtseilen geführt, welche in Verbindung mit der Leiter die primäre und secundäre Dynamo-Maschine mit einander leitend verbinden sollen. Die Drahtseile finden indessen nicht nur als Leiter der Elektricität Verwendung; sie dienen vielmehr auch dazu,

Digitized by Google

die Arbeit der Hebung der Last des Fahrstuhles und der Dynamo-Maschine zu ersparen und die Arbeitsleistung der Dynamo-Maschine beim Auf- und Niedergang des Fahrstuhles annähernd gleich zu machen. Zu diesem Zwecke ist das

Fig. 423.



Die Anordnung der unter dem Fahrstuhl angebrachten dynamo-elektrischen Maschine.

eine Ende der beiden, über zwei Rollen am obern Ende des Aussichtsthurmes laufenden Drahtseile an dem Fahrstuhle befestigt, während an dem andern Ende derselben

Digitized by Google

ein Gegengewicht hängt, welches den Fahrstuhl und seine mittlere Belastung auszugleichen bestimmt ist.

Die Zahnstange *L* ist, wie die Figuren 422 und 423 erkennen lassen, eine aus Stahl bestehende Leiter, deren Wangen aus dreifachen Stahlblechen von etwa 5mm Dicke und 60mm Breite bestehen, die derartig mit einander vernietet sind, dass immer mindestens die volle Tragfähigkeit zweier Bleche in jeder der beiden Wangen zur Geltung kommt. Die beiden Wangen sind durch vernietete Sprossen aus Rundstahl von 15mm Dicke mit einander zu einer leiterartigen Zahnstange verbunden. Die Sprossen haben einen Abstand von 35mm, von Mitte zu Mitte gemessen. Diese Leiter *L* reicht in senkrechter Lage von der Höhe des Aussichtsthurmes zum Boden und ist oben und unten an starken Balken sicher befestigt. Die Leiter geht durch die Mitte des Fahrstuhles, unter welchem sich, von einem sie rings umschliessenden Holzkasten *H* umgeben, die Dynamo-Maschine *M* befindet. Die Achse dieser Dynamo-Maschine endet in einer Schraube ohne Ende *S*, die zwei Zahnräder R_1 und R_2 dreht, welche von beiden Seiten in die Sprossen der Leiter eingreifen.

Die Ganghöhe der treibenden Schraube ist so klein, dass ein Hinabschnellen des Fahrstuhles bei Unterbrechung des Stromes nicht eintreten kann. Ein auf dem Fahrstuhle befindlicher Hebel ist mit einem Stromschalter derartig verbunden, dass bei der mittleren Stellung des Hebels die Stromleitung unterbrochen ist, während die Hebelstellungen nach rechts oder links bewirken, dass die Dynamo-Maschine und mit ihr die treibende Schraube ohne Ende in dem einen oder andern Sinne rotiren, den Fahrstuhl mithin auf- oder abwärts bewegen. Durch passende Einrichtungen wird bewirkt, dass sich diese Umschaltung selbstthätig an jedem Endpuncte der Hebung bezw. Senkung vollzieht.

Durch den beschriebenen elektrischen Aufzug sind in den

Digitized by Google

wenigen Wochen seiner Thätigkeit in der Mannheimer Ausstellung etwa 8000 Personen ohne jede Störung auf den Aussichtsthurm gehoben und wieder hinab befördert worden. Die Geschwindigkeit betrug etwa 0,5m in der Secunde.

Als Vorzüge dieses Systems vor dem hydraulischen lassen sich namentlich anführen: 1) die verhältnissmässig billige Herstellung und leichte Aufstellung und 2) der billige Betrieb. Dies gilt namentlich dann, wenn ein Motor zum Treiben der primären Dynamo-Maschine bereits vorhanden ist, oder wenn sich mehrere benachbarte Aufzugsbesitzer zur Einrichtung einer gemeinsamen Maschinen-Anlage zum Betriebe desselben vereinigen.

Zur Hebung von Gütern, Baumaterialien u. s. w., bei welcher absolute Sicherheit nicht, wie bei der Personenbeförderung, erste Bedingung ist, wird man sich der oben beschriebenen Hebungs-Einrichtung ausser etwa bei Hebungen auf sehr bedeutende Höhen, wohl nicht bedienen und statt derselben die Hebung durch Drahtseile verwenden. Es wird aber in vielen Fällen sehr zweckmässig sein, elektrische Transmission zur Drehung der Seiltrommeln zu verwenden. Namentlich bei Bauten und anderen Hebe-Einrichtungen für vorübergehenden Gebrauch wird die elektrische Krafttransmission der Einfachheit und Leichtigkeit der Einrichtung und Aufstellung wegen sich häufig als sehr vortheilhaft erweisen.

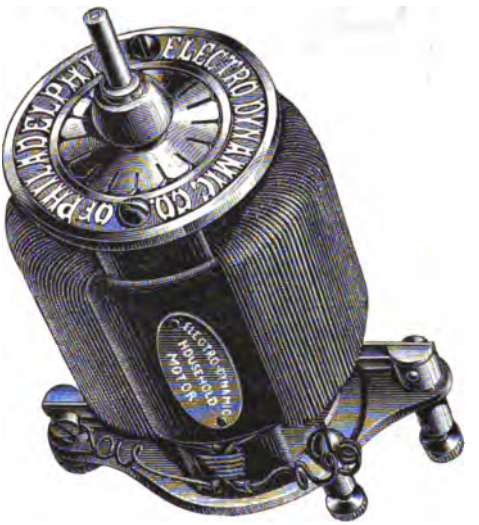
188. Die Klein-Motoren. Besonders in America finden die kleinen Motoren vielfach Verwendung in der Klein-Industrie zum Bewegen von Nähmaschinen, kleinen Drehbänken, Ventilatoren, ärztlichen Instrumenten u. s. w. Solche kleine Motoren enthalten fast immer eine *Siemens*-Armatur und wurden construirt von *Depres* (S. 116) und von *Trouvé*, welcher zuerst der *Siemens*-Armatur eine spiralförmige Gestalt gab, um zu erreichen, dass der Motor keinen todten Punct hat.

Digitized by Google

Fig. 424 ist die Abbildung des Motors, der unter dem Namen *Griscom*-Motor in America eine sehr grosse Verbreitung erhalten hat. Er besteht aus einer *Siemens*-Armatur mit einem ringförmigen Elektromagnet.

Bei diesen Motoren ist der Anker mit einem Commutator versehen, so dass bei jeder Rotation der Strom zweimal seine Richtung ändert und das Eisen ummagnetisirt

Fig. 424.



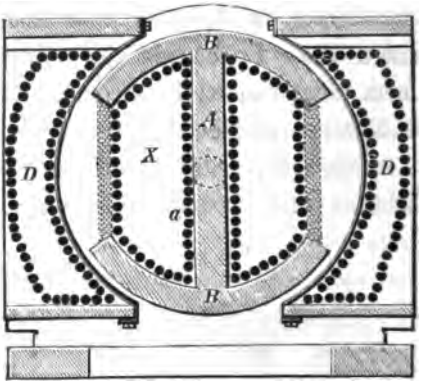
Griscom-Motor.

wird. Folge davon ist eine starke Erwärmung desselben und entsprechender Energieverlust. *Borel* hat einen Motor construirt, bei welchem der Anker immer denselben Magnetismus beibehält, wodurch also dieser Kraftverlust umgangen wird. Dagegen ändert sich in den feststehenden Schenkeln die Stromrichtung. Diese enthalten aber kein Eisen, so dass daraus kein Nachtheil entstehen kann. Der Stromlauf ist aus den Figuren 425 und 426 ersichtlich.

Einer der Pole der Maschine wird bei *G* mit dem Gestelle des Motors verbunden. Der Strom geht durch die

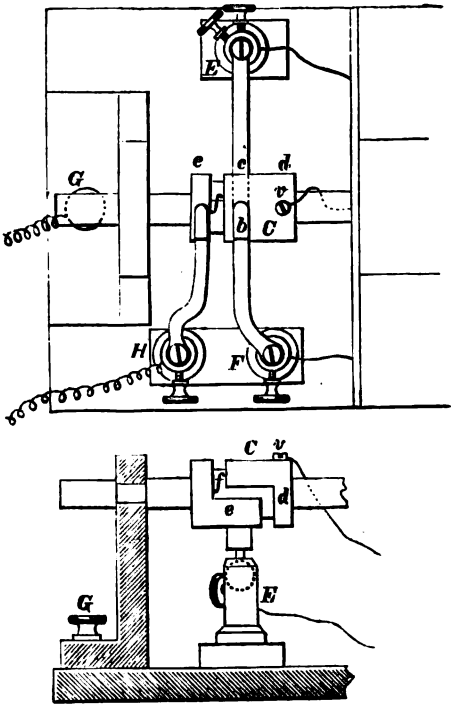
Digitized by Google

Fig. 425.



Der Motor von Borel.

Fig. 426.



Der Commutator des Motors von Borel.

Digitized by Google

Achse und tritt bei *a* (Fig. 425) in die Umwicklung des Ankers; er verlässt dieselbe durch das am Theile *d* des Commutators befestigte Drahtende *v*. Sodann geht der Strom durch den Reiber *b* nach *F*, wo die Wicklung des festen Drahtgewindes angeschlossen ist; bei *E* tritt er wieder aus, geht durch den Reiber *c* zu dem Theil *e* des Commutators, von da durch den Reiber *f* nach *H*, wo der andere Pol der Maschine verbunden ist. Bei der Rotation des Ankers bewirkt der Commutator eine Umkehr des Stromes im festen Drahtgewinde bei jeder halben Umdrehung, indem der Theil *d* mit dem Drahtende *v* abwechselnd mit den Reibern *b* und *c* in Berührung kommt.

Auch der Motor von *Bürgin*, der in der Elektricitäts-Ausstellung in Paris zum ersten Mal functionirte, beruht auf demselben Princip; ein Polwechsel ist ebenfalls vermieden. Das den Schenkel bildende Drahtgewinde stellt eine Hohlkugel dar, in welcher der kugelförmig gestaltete Inductor rotirt. Wenn es sich bloss um kleine Motoren mit kleiner Leistungsfähigkeit handelt, erreicht man denselben Zweck, indem man die Elektromagnete durch permanente Stahlmagnete ersetzt, und den Inductor ohne Eisenkern construirt.

Wenn nur ein einziger solcher Motor betrieben werden soll, so verwendet man als Stromerzeuger zweckmässig eine Batterie, etwa 6 Chromsäure-Elemente. Mit denselben liefert der *Griscom*-Motor eine Arbeit von $^1/_{20}$ Pferdestärke.

Sind dagegen eine ganze Reihe solcher Motoren gleichzeitig in Gang zu setzen, so schaltet man dieselben alle in eine und dieselbe Leitung, in welche man den Strom einer starken Dynamo-Maschine leitet. Man verwendet zu diesem Zwecke vortheilhaft Maschinen mit constanter Spannung, dann können einzelne Motoren ein- und ausgeschaltet werden, ohne den Gang der übrigen zu beeinflussen. *Deprez* (S. 371), der das Problem der elektrischen Kraftvertheilung zum ersten

Digitized by Google

Mal löste, führte auf der elektrischen Ausstellung in Paris eine Installation vor, welche 28 verschiedene Motoren, ausserdem noch mehrere Lampen umfasste, wobei alle Theile völlig unabhängig von einander functionirten. Bei dem Motorenbetrieb ist noch ein zweites Problem zu lösen. Der Motor soll immer mit der gleichen Geschwindigkeit rotiren, gleichviel, ob demselben momentan eine etwas grössere oder kleinere Arbeit zugemuthet wird; für viele Verwendungen ist das geradezu nothwendig. Auch hier hilft die Theorie von *Depres* leicht über die Schwierigkeit hinweg. Dieselbe lehrt uns Maschinen bauen, welche Ströme von constanter Spannung geben bei einer bestimmten Tourenzahl, gleichviel wie gross der äussere Widerstand oder die Stromstärke, d. h. die im Stromkreis geleistete Arbeit, ist.

Diese Methode benutzen wir auch hier, nur vertauschen wir die Bedingungen. Wir sorgen durch den Stromerzeuger dafür, dass an den Polklemmen des Motors stets dieselbe Potentialdifferenz herrscht, dann wird unabhängig von der geleisteten Arbeit die Tourenzahl stets dieselbe bleiben. Natürlich muss man für jede Tourenzahl die Wicklung entsprechend abändern. Man wird eine solche Schaltung verwenden, welche nicht noch einen separirten Stromerzeuger (wie *Depres* und *Ayrton*) braucht, also etwa die Schaltung von *Thompson* oder *Brush*. (S. Seite 370 u. ff.)

189. Sonstige Anwendungen. Eine weitere Verwendung können die Dynamo-Maschinen zur Bremsung von Eisenbahnzügen finden. Nach *Cardew* soll auf der Locomotive sowohl wie auf jedem Wagen eine Dynamo-Maschine so angebracht werden, dass die rotirenden Anker der Maschine auf den Räderachsen sitzen, welche mit einander so verbunden sind, dass der in dem Anker einer auf der Locomotive befindlichen Maschine erzeugte Strom sämmtliche Anker der anderen Maschinen durchläuft, demgemäss deren Anker in Umdrehung versetzt, so dass die zur Bewegung der Dynamo-

Digitized by Google

Maschine verbrauchte Kraft nicht verloren geht, sondern der Zugkraft der Locomotive zu Hülfe kommt, und zwar in demselben Sinne, in welchem die Räder bereits durch die Zugkraft der Locomotive gedreht werden. Wenn der Zug halten soll, kehrt der Locomotivführer mittelst eines Umschalters die Richtung des Stromes um, so dass nun die Anker hemmend auf die Bewegung der Wagenachsen wirken und den Zug zum Stehen bringen. Viele andere Systeme, welche auf ähnlichen Principien beruhen, sind seither angegeben aber selten praktisch verwendet worden.[1])

Wir könnten diese Reihe von praktischen Anwendungen der Kraftübertragung durch Elektricität noch durch mehrere Beispiele fortsetzen; allein das Gesagte wird genügen, um zu zeigen, dass diese Art der Anwendung der Dynamo-Maschine für die Zukunft sicher ein ebenso grosses und wichtiges Feld haben wird, als ihre Verwendung zur Erzeugung des elektrischen Lichtes. Sie ist ebenso geeignet, jede Art mechanischer Arbeit in elektrischen Strom umzusetzen und damit eine Fülle von Licht und Wärme zu erzeugen, als auch umgekehrt den elektrischen Strom in mechanische Arbeit umzuwandeln und damit jede Art von Arbeits-Maschinen in Betrieb zu setzen. Die elektrische Kraftübertragung aber hat den grossen Vorzug vor der gewöhnlichen Uebertragung der Kraft durch Riemen, durch comprimirte Luft oder durch Wasserdruck, dass innerhalb nicht gar zu weiter Grenzen die Entfernung des Ausgangspunctes der Kraft von dem Puncte der Wiedergewinnung eine sehr viel grössere sein darf,[2]) als bei den erstgenannten Uebertragungsmitteln, wozu noch kommt, dass in dem diese Puncte verbindenden und die Kraft elektrisch übertragenden Leitungsdrahte sich kein Druck und keine die Leitung gefährdende Spannung äussert. Die Leitung selbst erscheint äusserlich kraft- und leblos; sie

1) Lumière électrique IX, p. 307 u. ff. 1883.

2) *Beringer*, kritischer Vergleich, p. 98.

Digitized by Google

lässt sich biegen und wenden, während die fortzupflanzende Kraft in der Form eines elektrischen Stromes hindurchgeht.

In allen Fällen, in denen es sich darum handelt, eine grössere Kraft in verticaler Richtung fortzupflanzen, wird für die Zukunft das Dynamo-Maschinen-System mit den anderen hierzu gebräuchlichen Mitteln in Concurrenz treten, namentlich dann, wenn diese Transmission durch das Innere von bewohnten oder von Arbeitsräumen geschehen muss; denn die Leitung kann gleich einem Telegraphendrahte allen Winkeln des Gebäudes folgen und gegen alle äusseren nachtheiligen Einwirkungen leicht geschützt werden. Dadurch wird es möglich, die Kraft von jedem gegebenen Orte aus nach anderen entlegenen Oertlichkeiten hin zu verpflanzen, welche für Riemen oder Leitröhren unzugänglich sind. Wir denken hier in erster Linie an die Fortpflanzung der Kraft im Bergbau, im Grubenbetrieb und bei Tunnelarbeiten, und weiter an den Betrieb von kleinen Bahnen auf Arbeitsplätzen verschiedener Art, in unterirdischen Räumen, in der Tiefe von Schächten und Tunnels, wobei die Betriebsmaschinen und der Stromgeber über Tage stehen und die elektromotorischen Arbeitszüge in der Tiefe laufen.

Es ist gewiss, dass zur höchsten Ausnutzung des von dem Stromgeber erzeugten Arbeitsstromes der Elektromotor anders construirt werden muss als der elektrische Stromgeber selbst, und sowohl *Gramme* als *Siemens* und *Schuckert* sind damit beschäftigt, unter Verwerthung ihrer langjährigen Erfahrungen den Maschinen diejenigen Constructionen zu geben, welche zur Uebertragung der Arbeit am vortheilhaftesten sind; *Gramme* construirte bereits (§. 181) vier solcher Maschinen, welche die von einer Turbine hergegebene Arbeit von 36 Pferdekräften auf eine Entfernung von 5km übertragen.

Damit soll nicht gesagt sein, dass für die Zukunft die Uebertragung der Kraft vorzugsweise der Elektricität an-

Digitized by Google

gehören soll; die Elektricität, sagt *Siemens*, ist ganz bescheiden, sowohl bei der Beleuchtung als bei der Kraftübertragung, sie will nicht verdrängen und absetzen, sondern sie will nur diejenigen Gebiete an sich nehmen, die von den anderen vorhandenen bewährten Einrichtungen schlecht bedient werden. Wie das elektrische Licht nicht dazu berufen ist, überall an die Stelle des Petroleums und des Gaslichtes zu treten, so kann auch die elektrische Uebertragung der Kraft nicht unter allen Umständen als vortheilhaft bezeichnet werden. Wo aber die mechanische oder hydraulische Uebertragung nicht gut verwendbar ist, da wird man von nun an sich fragen, ob nicht die elektrische Uebertragung geeignet ist, die verlangte Arbeit mit Vortheil zu leisten.

Digitized by Google

XVII. Abtheilung.

Die secundären Elemente oder die Accumulatoren.

190. Die Accumulatoren. Es kann nicht bestritten werden, dass die dynamo-elektrischen Maschinen die billigsten Erzeuger starker elektrischer Ströme sind; durch sie erhält man ökonomischere Resultate, als durch eine *Volta*'sche Batterie oder durch irgend andere der bis jetzt bekannten elektrischen Stromerzeugungsmittel erlangt werden können; und doch beweisen sich in manchen Fällen die gewöhnlichen Batterien als nützliche Hülfsmittel zu den dynamo-elektrischen Maschinen, insofern dieselben gleichsam als ein Reservoir der Elektricität dienen.

Die Wichtigkeit der Aufgabe, einen elektrischen Accumulator, d. h. einen Apparat zu construiren, welcher die Aufspeicherung der Elektricität ermöglicht, so dass die in ihm angesammelte Elektricität jeder Zeit zur Erregung eines starken Stromes zur Verfügung steht, leuchtet sofort ein. Die *Leidener* Flasche genügt für diesen Zweck nicht, weil sie zwar hochgespannte Elektricität, diese jedoch nur in geringer Quantität, anzusammeln gestattet; selbst mächtige Condensatoren können verhältnissmässig nur wenig von der Elektricität aufnehmen, die der Strom einer constanten Quelle liefert. Immerhin aber ist die Ansammlung der Elektricität aus einem Strome und die Wiederabgabe der-

Digitized by Google

selben in der Form eines Stromes möglich. Schon *Gautherot* wusste im Jahre 1801, dass die Elektroden eines gewöhnlichen Voltameters, welches der Wirkung eines galvanischen Stromes ausgesetzt wird, die Eigenschaft annehmen, nach Entfernung der Drähte des Elementes einen Strom zu geben, welcher eine Richtung hat, die dem erstern entgegengesetzt ist. Dieser Strom des Voltameters hat nur eine kurze Dauer; nach seinem Eintritt in ein Galvanometer nimmt seine Intensität schnell ab und sinkt bald auf Null herunter.

Den Vorgang, welcher den Elektroden die Fähigkeit ertheilt, die Eigenschaften elektrischer Pole zu erlangen, nennt man das Polarisiren der Elektroden, sowie man den Strom, welchen die polarisirten Elektroden erzeugen, den „secundären Strom" nennt, im Gegensatze zu dem erregenden primären Strome, in Folge dessen auch die Stromquelle den Namen „secundäres Element" führt.

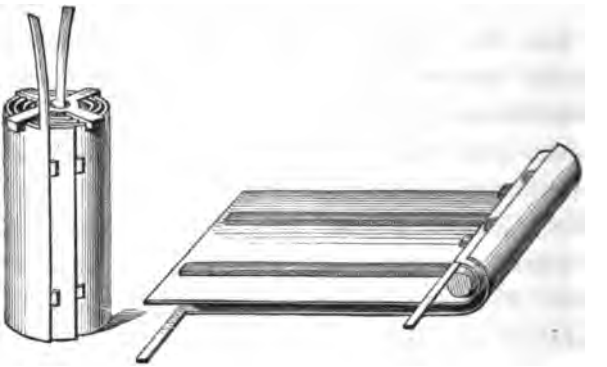
Solchen Elementen kann man auch eine andere Gestalt als die eines Voltameters geben; schon *Ritter* in Jena zeigte im Jahre 1803, dass Elektroden aus Kupfer, Eisen, Wismuth oder Gold in einer leitenden Flüssigkeit zur Herstellung secundärer Elemente geeignet sind; *Planté* jedoch wies zuerst nach (1859), dass Blei zur Herstellung von secundären Elementen am meisten geeignet sei, und stellte seit dieser Zeit zahlreiche Versuche über diesen Gegenstand an. Seine ohne Unterlass fortgesetzten Versuche sind in den Comptes rendus der Académie des Sciences veröffentlicht. Auch hat er im Jahre 1879 seine Arbeiten in einem Werke vereinigt, welches den Titel führt: Recherches sur l'Electricité.

191. Planté's Element. Zur Verfertigung eines solchen Elementes werden zwei Bleiplatten aufeinander gelegt (Fig. 427); auf jeder derselben liegen, ihre Berührung zu verhindern, zwei Paar Kautschuk-Bänder von ungefähr 1 cm Breite und 0,5 cm Dicke. Mit Hülfe eines Holzcylinders werden nunmehr die beiden Bleiplatten zu einer Spirale

Digitized by Google

aufgewickelt; nach geschehener Aufwicklung wird der Holzcylinder entfernt. Um dem System eine grössere Festigkeit zu geben, werden quer über die Spirale zwei in der Wärme weich gemachte Guttaperchastäbe gepresst, so dass dadurch die Windungen der Spiralen an ihrem Orte fixirt werden. Die Spirale wird in ein cylindrisches Gefäss eingesenkt und innerhalb desselben mit kleinen Guttaperchastäben festgestellt, worauf das Gefäss mit einem Deckel von Hartgummi geschlossen wird. Letzterer trägt die beiden Pole

Fig. 427.



Anfertigung des Planté'schen Elementes.

und besitzt eine Oeffnung, durch welche man die Flüssigkeit — 10% schwefelsäurehaltiges Wasser — einfüllen kann, die aber auch den Gasen, welche sich bei der Ladung entwickeln, das Entweichen gestatten.

Zur Ladung eines solchen secundären Elementes reichen zwei *Bunsen*'sche Elemente aus. Sobald der Strom derselben die Schwefelsäure in Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt, wird die die positive Elektrode bildende Elektrode vom Sauerstoff an ihrer Oberfläche angegriffen und dort in eine sehr sauerstoffreiche Verbindung — Bleisuperoxyd $Pb\ O_2$ — verwandelt, während die negative Blei-Elektrode, an welcher sich der Wasserstoff abscheidet, zu metallischem

Digitized by Google

Blei reducirt wird, wenn sie oxydirt war. Diese bekommt demnach eine graue körnige Oberfläche, jene aber bedeckt sich mit einem braunen Ueberzug.

Die Ladung erreicht ihren Höhepunct, sobald sich an der braunen Elektrode Sauerstoffbläschen zeigen. Alsdann ist es gerathen, das secundäre Element von dem Ladungs-Element zu entfernen, weil der polarisirende Strom nunmehr einen Verlust herbeiführen könnte. Bleibt das geladene Element sich selbst überlassen, so behält es die Ladung mehrere Tage hindurch; und selbst nach einer Woche ist es noch nicht entladen. Verbindet man aber die beiden Bleiplatten mit einander, so erhält man den secundären Strom. Das sauerstoffreiche Bleisuperoxyd sucht den Wasserstoff der Schwefelsäure an sich zu reissen, es desoxydirt sich und wirkt wie der negative Pol eines Elementes, während die reducirte Bleiplatte den Sauerstoff aufnimmt und den positiven Pol eines secundären Elementes bildet.

Auch kann man[1]) statt der zwei *Bunsen*'schen Elemente drei *Daniell* oder selbst Elemente mit noch grösserm Widerstand zur Ladung anwenden, doch muss die elektromotorische Kraft der Batterie der von zwei *Bunsen* nahe kommen; allerdings dauert aber die Ladung um so länger, je grösser der Widerstand der primären Kette ist; wo aber die Zeit dazu da ist, dürften oft Elemente der zuletzt genannten Art bequemer sein als zwei *Bunsen*. Selbstredend kann man auch den von elektro-dynamischen Maschinen erzeugten Strom zur Ladung benutzen. Nur darf der primäre Strom nicht zu stark sein, sonst zerfällt das Bleisuperoxyd leicht in Bleioxyd und Sauerstoff. Als primäre Kette setzen wir hier zwei *Bunsen*'sche Elemente, denen *Planté* den Vorzug vor allen anderen Quellen zu geben scheint, voraus. Ist das secundäre Element neu, so erscheint bald nach der Anlegung der beiden *Bunsen* an der positiven Elektrode Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff. Der secundäre Strom hat zwar gleich eine grosse Intensität, aber eine geringe Dauer, da die gebildete Schicht Bleisuperoxyd noch sehr dünn ist und sehr rasch, nachdem die secundäre Kette geschlossen ist, reducirt wird. Ladet man ein zweites Mal, so findet der Ladungsstrom die Platten bereits etwas verändert vor; die negative Platte hat sich durch die Wirkung des secundären Stromes oxy-

1) Nach der E. Z. 1881, p. 56.

Digitized by Google

dirt und nimmt nun den Wasserstoff auf, indem sie sich reducirt; die positive Elektrode ist jetzt bedeckt von einer Schicht reducirten Bleies und nimmt den Sauerstoff nun besser auf. Nunmehr wird der secundäre Strom von etwas grösserer Dauer sein und diese wird noch gesteigert durch eine häufigere Wiederholung der Ladung und Entladung. Dabei ist es von Vortheil, den Sinn der Ladung zu wechseln und so die erst positive Platte zur negativen zu machen, und umgekehrt. Auch soll es vortheilhaft sein, die Entladung des secundären Elementes nicht sofort vorzunehmen, sondern es einige Zeit geladen stehen zu lassen; nach der Ansicht von *Planté* nimmt das Metall dadurch einen krystallinischen Charakter an, welcher es für die Aufnahme der Ladung geeignet macht. Demgemäss gibt *Planté* folgende Vorschrift für die Vorbereitung eines secundären Elementes: Man lässt am ersten Tage 6 bis 8 Mal den Strom von zwei *Bunsen*'schen Elementen durch das secundäre Element in abwechselndem Sinne gehen. Zugleich lasse man die Zeitdauer der Ladung wachsen von ¼ Stunde bis zu 1 Stunde. Nach jeder Ladung entlade man das Element; man wird dabei, etwa mit Hülfe eines glühendwerdenden feinen Platindrahtes, erkennen, dass die Dauer der Entladung zunimmt.

Schliesslich lasse man das Element in einem bestimmten Sinne bis zum nächsten Tage geladen stehen. Am folgenden Tage lade man das Element zwei Stunden in einem der letzten Ladung entgegengesetzten Sinne, dann lade man es wieder im ersten Sinne und so fort. Alsdann lasse man das secundäre Element acht Tage lang ruhig stehen, lade es dann wieder einige Stunden lang, ohne es aber wieder an demselben Tage zu entladen. Man steigere die Ruhezeit allmählich auf 14 Tage, 1 Monat, 2 Monate u. s. w. Die Dauer der Entladung soll dadurch sich fortgesetzt steigern. Die Grenze für die Dauer des secundären Stromes soll nur in der Dicke der Platten gefunden werden. Indessen soll die Vorbereitung nicht weiter ausgedehnt werden, als für den Zweck, zu dem das Element dienen soll, nöthig scheint, weil durch die Oxydation der positiven Platte der Widerstand wächst und so die Zeitdauer für die Ladung zunimmt. Ist einmal das secundäre Element vorbereitet, so ist es nicht mehr angezeigt, den Sinn der Ladung beim Gebrauch jedesmal zu wechseln, weil sonst bei der Ladung unnütz Zeit damit verbraucht würde, das noch vorhandene Bleisuperoxyd zu reduciren. Man behalte also schliesslich die eine Platte als positiven, die andere als negativen Pol bei.

Um das Element gut zu erhalten, soll man es nach der gehörigen Vorbereitung nicht Monate lang ungebraucht stehen lassen, weil das Superoxyd die Neigung hat, in Oxyd überzugehen, welches sehr viel schlechter leitet. Man lade das Element also von Zeit zu Zeit wieder, oder man halte es durch eine schwächere Kette beständig geladen. Bei einem gehörig vorbereiteten Elemente bemerkt man in der ersten

Digitized by Google

Zeit der Ladung keine Gasentwickelung; beginnt die Gasentwickelung, so ist das ein Zeichen dafür, dass die Ladung beendet ist. Bei einem secundären Elemente von 1 qm Oberfläche können 20 bis 30 Minuten vergehen, bis die Gasentwickelung eintritt.

Im ersten Moment der Entladung ist der secundäre Strom sehr stark, aber diese Heftigkeit ist nicht von langer Dauer, sie rührt von der Polarisation durch die entwickelten Gase her. Alsdann folgt der von der Veränderung der Bleiplatten herrührende Strom, welcher nun recht constant andauert und ziemlich plötzlich, nachdem die Kraft verbraucht ist, nachlässt. Der erstere stärkere Strom tritt nicht auf, wenn man das Element einige Zeit nach der Ladung, ohne es zu entladen, stehen lässt. Die Gaspolarisation verschwindet dann von selbst. Dagegen verschwindet die von den Platten herrührende Wirkung nicht sobald, sie hält sich 2 bis 3 Wochen, auch 4 Wochen bei besonders gut vorbereiteten Elementen. Der allmähliche Niedergang der Ladung rührt aber in diesem Falle von localen Strömen an der positiven Platte zwischen Blei und Bleisuperoxyd her, wodurch sich das Superoxyd reducirt.

Auch die interessante Erscheinung des Residuums beobachtet man, dass also bei einer Entladung der secundäre Strom nachlässt, nach einiger Zeit jedoch wieder auftritt, wenn man das geöffnete Element eine Weile ruhig sich selbst überlässt und dann den secundären Stromkreis wieder schliesst.

Nachdem es scheinbar vollkommen entladen ist und einige Minuten bei offenem Stromkreise geruhet, hat es also einen Theil seiner Kraft wieder gewonnen. Das neuerdings entladene Element gewinnt, nachdem es auch seinen Rückstand verloren hat und sich selbst überlassen ist, abermals Kraft, die jedoch geringer ist als bei dem ersten Male. Auf diese Weise kann man noch mehrmals verfahren, immer wird man einen Rückstand beobachten können.

Planté hat diese Eigenthümlichkeit auf folgende Weise sehr gut erklärt: „Das secundäre Element entladet sich, sobald es in Wirkung tritt, und polarisirt sich zu gleicher Zeit, wie dies alle Elemente mit nur einer Flüssigkeit thun. Diese Polarisation erreicht nach einer gewissen Zeit eine Stärke, welche der des geschwächten secundären Elementes fast gleichkommt, in Folge dessen alle Wirkung aufhört oder wenigstens sehr gering wird; ist nun das Element sich selbst

Digitized by Google

überlassen, so findet, wie bei allen Elementen, eine Depolarisation Statt, wodurch es wieder geeignet wird, in Thätigkeit zu treten, um sich wieder zu polarisiren und so fort.“

Die Dauer der Entladung hängt von der Grösse des eingeschalteten Widerstandes ab; einen starken Platindraht von 1mm Durchmesser kann man je nach der Vorbereitung des Elementes 1 bis 10 Minuten lang zum Glühen bringen, dagegen einen Draht von $^1/_{10}$mm Durchmesser bis auf 1 Stunde lang.

Die elektromotorische Kraft des Elementes beträgt im ersten Moment, so lange Gaspolarisation noch vorhanden ist, 1,4 bis 1,5 *Bunsen*, nachher 1,17 *Bunsen*.

Der Widerstand eines secundären Elementes ist je nach seiner Grösse gleich dem Widerstande eines 3 bis 5m langen, 1mm starken Kupferdrahtes. Merkwürdigerweise soll die Grösse und der Abstand der Platten nicht einfach nach dem *Ohm*'schen Gesetz dabei maassgebend sein, vielmehr soll die Verminderung des Abstandes in einem höheren Grade auf die Verkleinerung des Widerstandes einwirken, als die Vergrösserung der Plattenpaare, deren Grösse nur wenig dabei von Einfluss sein soll. Eine Erklärung dafür gibt *Planté* nicht.

Ist das Element vollständig entladen, so sind die Bleiplatten in demselben Zustande, in dem sie vorher waren, fähig, von Neuem geladen zu werden. Diese Ladung vollzieht sich um so rascher, in je kürzerer Frist sie auf die Entladung erfolgt.

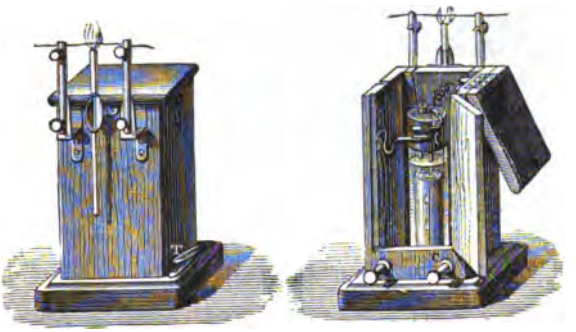
Die spiralförmige Gestalt der Elektroden gibt denselben eine grosse Oberfläche und kleinen Widerstand, so dass *Planté's* Element einem gewöhnlichen Elemente entspricht, dessen Grösse ganz ungewöhnlich gross ist. Die Oberfläche beträgt bei dem kleinen Modell 8qdm, bei dem grossen 40qdm. Der Blei-Oberfläche entspricht aber die Quantität der Elektricität, welche, in dem Apparat durch

Digitized by Google

den Ladungsstrom erzeugt, 90% des letztern reproduciren kann.

Die kleineren Apparate lassen sich ein- für allemal in ein reinliches Kästchen verpacken und bilden dann eine Elektricitätsquelle, die leicht transportabel und vor den gewöhnlichen Batterien durch Reinlichkeit und Bequemlichkeit der Handhabung ausgezeichnet ist. Wer etwa einen Haustelegraphen besitzt, kann die *Planté*'sche Zelle mit Hülfe der zugehörigen Batterie laden; wer dergleichen nicht hat, kann zu irgend einem Elektriker hingehen und die Ladung besorgen lassen. Kleine Apparate der Art werden seit Jahren von Paris aus in den Handel gebracht, theils zu

Fig. 428.



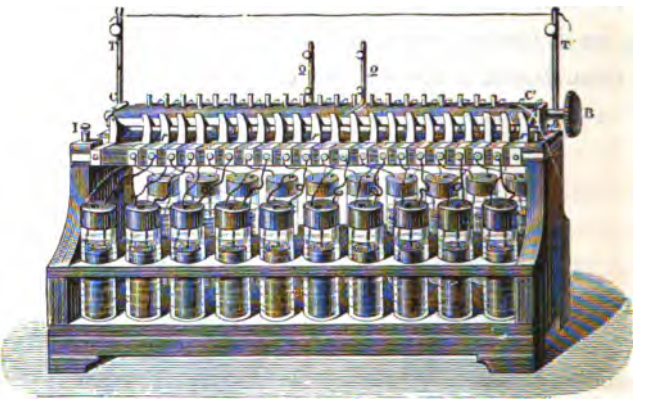
Briquet de Saturne.

medicinischen Zwecken, theils als Zündmaschinen. Für den letztern Zweck befinden sich an dem Kästchen (*Briquet de Saturne*; Fig. 428) zwei kleine Klemmen, zwischen welchen ein Platindraht ausgespannt ist; so oft man durch einen Druck auf eine Feder *T* am Bodenbrett des Kastens einen Contact herbeiführt, schickt das im Kästchen befindliche Element einen Strom durch den Draht, macht diesen erglühen und entzündet dadurch eine kleine Kerze. Dies kann etwa 100 Mal geschehen, ehe eine Neuladung des Elementes erforderlich ist.

Digitized by Google

Es können aber auch die secundären Elemente auf Spannung oder Quantität mit einander verbunden werden, was bei der von *Planté* angeordneten secundären Batterie sowie mittelst eines sinnreich erdachten Commutators mit Leichtigkeit geschehen kann. Bei dieser Batterie sind nämlich (Fig. 429) 20 Elemente in zwei Reihen angeordnet und alle äusseren Elektroden mit Contacten auf der einen, alle inneren

Fig. 429.



Planté'sche Batterie.

Elektroden mit solchen auf der anderen in Verbindung gebracht, derart, dass bei der in Fig. 430 gezeichneten Stellung des Commutators die 20 Elemente auf Quantität, in einer zu der vorigen aber unter dem rechten Winkel stehen-

Fig. 430.

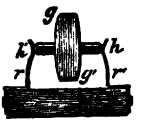
Stellung des Commutators bei Verbindung der Elemente auf Quantität.

den auf Spannung mit einander verbunden sind. (Vgl. Fig. 431 und 432.) Im ersten Falle bildet demnach der

Digitized by Google

ganze Apparat ein einziges grosses Element, im zweiten aber eine wirkliche Batterie von 20 Elementen. Zur Ladung hat man sich der ersten (Klemmen Q Q'), zur Entladung der zweiten Stellung (Klemmen T T') zu bedienen. Die Batterie vertritt dann bei Beginn ihrer Thätigkeit 30 *Bunsen*'sche Elemente von grosser Oberfläche, welche einen langen, dünnen, in die Klemmen T und T' eingespannten Platindraht zum Erglühen bringt.

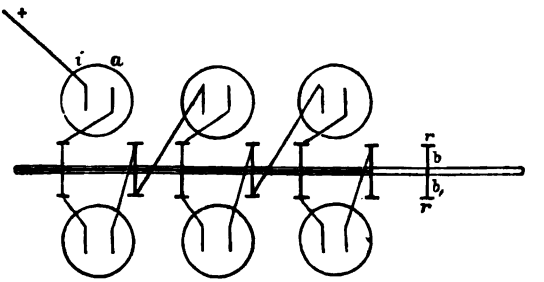
Fig. 431.



Stellung des Commutators bei Verbindung der Elemente auf Spannung.

Nach *Hauck* hat *Planté* in seinem Laboratorium 800 seiner Elemente, welche ungefähr 1200 *Bunsen*-Elemente entsprechen, vereinigt, und verfügt somit über eine der stärksten Elektricitätsquellen, welche einem Physiker je zu Gebote standen.

Fig. 432.



Verbindung der Planté'schen Elemente auf Spannung.

Die secundären Elemente *Planté's* besitzen die Eigenthümlichkeit, dass erst eine häufig wiederholte Ladung und Entladung ihre höchste Capacität eintreten lässt;[1]) diese

1) Vgl. *Hauck*, die galvanischen Elemente von *Volta* bis heute, p. 233.

Digitized by Google

langsame Bildung der Elemente und die dadurch bedingten Kosten sucht *Faure* durch folgendes Verfahren[2]) zu umgehen.

192. Faure's Element. Einen jeden der beiden Bleistreifen von 200mm Breite, 600 bezw. 400mm Länge und 1 bezw. 0,5mm Dicke bedeckt er mit Mennige ($Pb_2\ O_4$), welche mit Wasser zu einem Brei angerührt wird; die grosse Platte erhält 800g, die kleine 700g Mennige. Letztere wird zunächst durch aufgelegtes Pergamentpapier, sodann durch einen Filzüberzug an ihrem Orte festgehalten. Die so gebildeten Elektroden werden in der §. 191 beschriebenen Weise aufgerollt. Das Ganze wird sodann in ein bleiernes Gefäss eingesenkt, welches inwendig mit Mennige und Filz ausgekleidet ist und auch an der Wirkung participirt, da die Bleifahne (vgl. Fig. 427) der kleineren Platte an dasselbe angelöthet wird. Das fertige Element wiegt ohne Flüssigkeit 8500g.

Wenn das Element zwei- oder dreimal geladen und entladen worden ist, hat es seinen Beharrungszustand erlangt. Nach der Ladung ist die Beschickung der einen Elektrode ganz und gar in Bleisuperoxyd übergegangen; die der anderen Elektrode ist reducirtes Blei. Nach der Entladung hat sich das Superoxyd wieder stark desoxydirt, während sich das reducirte Blei oxydirt hat.

Man begreift, sagt *Niaudet*, dass die Capacität des Elementes von der Quantität der Mennige abhängt, womit die Elektroden beschickt sind; man begreift daher auch die Ueberlegenheit des *Faure*'schen Elementes über dasjenige von *Planté*; *Faure* gibt an, dass man bei seiner Disposition die vierfache Elektricitätsmenge derjenigen aufspeichern kann, welche von einem *Planté*'schen Elemente gleicher Oberfläche aufgenommen wird. Auch gibt derselbe an, dass er in einem 75kg schweren Apparate so viel Elektricität

2) Z. f. a. E., 1881. p. 227.

Digitized by Google

aufspeichern kann, wie der Arbeit einer Pferdekraft während einer Stunde entspricht. Vergleicht man hiermit die Angaben anderer Forscher, so scheint die von *Faure* behauptete gewaltige Superiorität seines Elementes über das *Planté*'sche sehr fraglich zu sein. Kann z. B. nach *Geraldy & Hospitalier* ein *Planté*'sches Element per Kilogramm Bleigewicht 3450kgm aufspeichern, so beträgt nach *Reynier* die Aufspeicherungsfähigkeit eines *Faure*'schen Elementes 3750kgm. Wenn hiernach der Unterschied zwischen den beiden Elementen nicht so bedeutend ist, als vordem geschildert wurde, so muss doch zu Gunsten des *Faure*'schen Elementes bemerkt werden, dass dasselbe ziemlich neuen Datums ist und daher eine noch weitere Vervollkommnung erfahren wird, während das *Planté*'sche Element bereits eine 20jährige Entwickelung hinter sich hat.

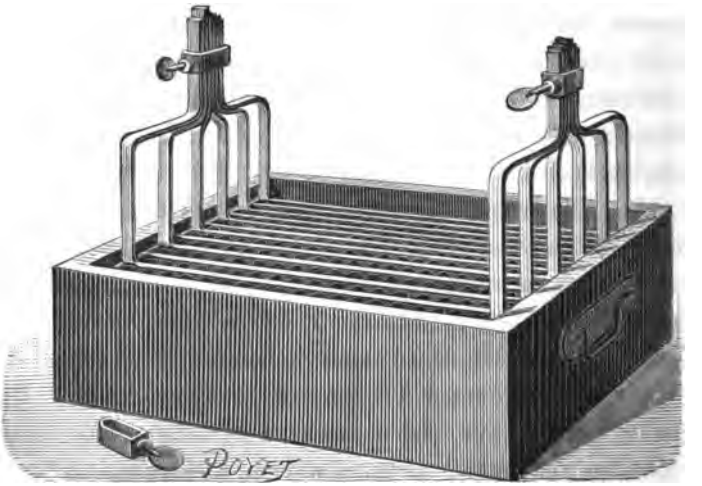
193. Die neuen Accumulatoren. Während *Faure* die Vergrösserung der Capacität durch chemische Behandlung der Bleiplatten zu erreichen sucht, thut dies *Kabath* auf mechanische Weise. Er verwendet Bleiplatten von bloss $^1/_{10}$mm Dicke. Dieselben sind wellenförmig gebogen und je 100 solcher dünner Platten sind zwischen zwei dickere Bleche, welche mit vielen Löchern versehen sind, eingeschlossen und bilden zusammen eine Elektrode. Zehn bis zwölf solcher Elektroden werden in einer hölzernen Kiste zusammengestellt. Fig. 433 zeigt die Ansicht einer solchen Kiste.

In neuerer Zeit werden die Accumulatoren *Faure-Sellon-Volkmar* als die besten angesehen. Die Bleiplatten haben runde oder quadratische Löcher, in welche die Mennige oder ein anderes passendes Bleisalz eingepresst wird. Es sind dadurch die Filz- oder Pergamentstoffe, welche bei den *Faure*-Elementen die Mennige an den Bleiplatten halten muss, überflüssig gemacht, und mit deren Beseitigung wird der Widerstand des Elementes bedeutend kleiner.

Digitized by Google

Ein Accumulator, der im Stande ist, eine Ladung aufzunehmen, welche bei der Entladung eine Pferdestärke leisten kann, besteht aus 16 Platten von 17 cm Breite und 13 cm Höhe. Das Gewicht derselben (ohne die Flüssigkeit) beträgt 26 kg. Man erhält die beste Wirkung, wenn man mit einem Strom von 1,5 Ampère ladet, und mit einem solchen von 2,5 Ampère entladet. Die Spannung bei der Entladung ist 2,1 Volt. Ein einzelner Accumulator

Fig. 433.



Kabath's Accumulator.

kann einen solchen Strom 150 Stunden lang unterhalten. Die einzelnen Platten sollen 4 Jahre lang aushalten. Diese Accumulatoren, welche auf der elektrischen Ausstellung in Wien zum ersten Mal Aufsehen erregten, zeichnen sich namentlich durch solide Construction und einfache Behandlung aus.

O. Schulze sucht auf chemischem Wege denselben Zweck zu erreichen. Er überdeckt die Bleiplatten mit einer breiartigen Lösung von Schwefelblumen und bildet durch Er-

Digitized by Google

wärmung derselben auf den Platten einen Ueberzug von Schwefelblei. Stellt man diese Platten in stark verdünnte Schwefelsäure und leitet den elektrischen Strom hindurch, so wird der Schwefel ausgeschieden, während die Bleiplatte die nöthige schwammige Oberfläche erhält.

Statt der negativen Elektrode kann man für Blei irgend ein anderes Metall wählen, und man muss dann das entsprechende schwefelsaure Salz der Lösung hinzufügen. Wählt man Kupfer wie *Reynier*, so setzt man der Lösung Kupfervitriol zu. Verwendet man als negative Elektrode Zink wie *Dr. Böttcher*, so füllt man dasselbe mit Zinkvitriol. Es wird dadurch die elektromotorische Kraft des Elementes vergrössert, da das Blei-Superoxyd mit dem Zink ein kräftiges Element bildet.

In Bezug auf die theoretischen Verhältnisse bei den Accumulatoren verweisen wir auf die ausführlichen Arbeiten, welche *D. Aaron* in der E. T. Z. 1882, p. 222 ff. und *J. H. Gladstone* und *A. Tribe* in Nature (London 1882) veröffentlicht haben.

194. Anwendung der Accumulatoren. Die secundären Elemente sind dazu berufen, die dynamo-elektrischen Maschinen zu ergänzen, insofern sie auf dem Gebiete der Incandescenz-Beleuchtung oder auch in den Fällen, wo eine kleinere dynamo-elektrische Maschine als Motor dienen soll, mit Erfolg angewandt werden können.[1])

Zunächst hat sich in Paris gezeigt, dass die secundären Elemente ganz geeignet sind zur Erzeugung des Glühlichtes. Die Verbreitung desselben hängt also wesentlich von der Ausbildung der secundären Elemente ab, weil durch dieselben die Unkosten der elektrischen Kraft wesentlich verringert werden dürften, und diese sehr leicht zu beschaffen, ja, nach Maass wie eine Waare käuflich zu erwerben ist. Arbeiten

1) Vgl. Z. f. a. E., 1881, p. 271. Der Wirkungsgrad der Secundär-Batterie nach *Emil Reynier*. — ib. p. 432.

Digitized by Google

bis jetzt die elektrischen Maschinen und zugehörigen Motoren nur während der Zeit, wo die Elektricität gebraucht wird, also nur wenige Stunden pro Tag, so könnte unter den neuen Umständen, wie sie durch die Erfindung von *Planté* und *Faure* geschaffen sind, die Ladung der Reservoire durch magnet- oder dynamoelektrische Maschinen den ganzen Tag über fortgesetzt und somit das Anlage-Capital der Elektricitäts-Anstalten in weit geringerer Zeit amortisirt werden, während gleichzeitig die Kosten des Brennmaterials erheblich reducirt würden. Solche Einrichtungen sind bis jetzt ausgeführt worden für verschiedene Theater, das Savoy Theatre in London, das Théâtre des Variétés in Paris; viele andere Theater haben diese Beleuchtung zur nahen Einführung in Aussicht genommen. Die Vortheile des elektrischen Lichtes im Allgemeinen für die Theater haben wir schon oben erörtert. Dass die Accumulatoren hier am Platze sind, wird einleuchtend, wenn man bedenkt, dass die Beleuchtung nur wenige Stunden im Tage dauert und auch während dieser Zeit eine sehr ungleiche, fast beständig wechselnde Beleuchtung erforderlich ist. So werden im Théâtre des Variétés 200 Accumulatoren während 15 Stunden im Tage durch einen 10pferdigen Gasmotor geladen, während die directe Speisung aller Lampen gleichzeitig 35 Pferdestärken erfordern würde. Möglich ist es immerhin, dass man später in besonderen Verkaufslocalen elektrische Reservoire finden und dort den zu irgend einer Leistung nothwendigen elektrischen Kraftvorrath kaufen wird.

Trouvé[1]) und *Tissandier* stellten mit Erfolg Versuche an, durch den von secundären Elementen gelieferten Strom kleine Elektromotoren und durch diese wiederum ein Boot, ein Velociped, ja einen Luftballon zu treiben. Die Com-

1) Vgl. L'Ingénieur, le moteur *Trouvé*, 1881.

Digitized by Google

pagnie générale des Omnibus de Paris versuchte sogar einen Tram eigener Construction mittelst einer Batterie *Faure*'scher Elemente bewegen zu lassen; das Experiment soll geglückt sein und zu weiteren Versuchen auf diesem Gebiete ermuntert haben, wonach es möglich ist, dass durch Elemente bewegte elektrische Trams dereinst die Pferdebahnen ersetzen dürften.

Vorläufig wird einer allgemeinen Verwendung der Accumulatoren das im Verhältniss zu ihrer Leistung grosse Gewicht entgegenstehen. Ueber die Leistung geben die Messungen in der Pariser Ausstellung[1]) Auskunft, welche wir im Folgenden mittheilen. Sie beziehen sich auf eine Batterie von 35 Elementen, System *Faure*, jedes war 45,7kg schwer, die ganze Batterie also 1600kg.

Die Elektricitätsmenge, welche in einen Accumulator hineinfliesst, seine Ladung, wird in Coulomb gemessen. Ein Coulomb ist diejenige Elektricitätsmenge, welche bei der Stromstärke von 1 Ampère durch einen bestimmten Querschnitt des Leiters in einer Sekunde fliesst. Es besteht daher die Relation zwischen Stromstärke J (Ampère), Zeit t (Secunden) und Ladung L (Coulomb)

$$J \cdot t = L \text{ (Coulomb)}.$$

Aus dieser Gleichung ist die Ladung der Accumulatoren in den folgenden Beobachtungen, die von *Alard*, *Blanc*, *Joubert*, *Potier* und *Tresca* im Januar 1882 im Conservatoire des arts et métiers in Paris ausgeführt wurden, berechnet.

1) Exposition internat. d'Eléctricité. Jury Rapports II, p. 374 ff.

Digitized by Google

Ladung.

	Dauer der Ladung. U. M.	Gesammtarbeit der Dynamo-Maschine. kgm.	Elektrische Arbeit der Ladung. kgm.	Spannung. *Volt.*	Stromstärke. *Ampère.*	Ladung. *Coulomb.*
Januar 4. . .	5 30	2 414 907	1 814 600	82,21	10,93	216 400
„ 5. . .	7 00	2 772 292	1 947 100	91,08	7,97	200 800
„ 6. . .	7 30	3 246 871	2 028 800	92,91	7,94	214 300
„ 7. . .	2 45	1 135 728	591 600	92,06	6,36	63 000
	22 45	9 569 798	6 382 100			694 500

Entladung.

	Dauer der Entladung. U. M.	Spannung. *Volt.*	Stromstärke. *Ampère.*	Ladung. *Coulomb.*	Elektrische Arbeit. kgm.
Januar 7. . . .	7 19	61,39	16,128	424 800	2 658 000
„ 9. . . .	3 20	61,68	16,235	194 800	1 226 000
	10 39			619 600	3 884 000

Der Nutzeffect ist

89 % der Ladung,
46 % der Totalarbeit,
61 % der Ladungsarbeit.

Die Entladung geschah durch 11 *Maxim*-Lampen, die parallel geschaltet waren und von denen jede einen Widerstand von 74 Ohm hatte. Die Leuchtkraft einer Lampe war anfangs 1,5 Carcel und nahm gegen Ende des Versuches auf 0,21 Carcel ab.

Digitized by Google

Man kann also sagen, dass ein guter Accumulator 50% der zur Ladung verwendeten Arbeit wieder zurückgibt. Allerdings erhält man von der Elektricitätsmenge bis zu 90% wieder, aber die Spannung derselben beträgt höchstens $^2/_3$ bei der Entladung. Diese Verhältnisse sind bei allen guten Accumulatoren ungefähr gleich. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich hauptsächlich nur durch die Grösse des Bleigewichtes, das für eine bestimmte Ladung nothwendig ist.

Man wird deshalb vorläufig noch die Verwendung der Accumulatoren möglichst vermeiden. Es kann aber viele Fälle geben, wo dieselben sehr vortheilhafte Anwendung finden. Wenn eine billige Betriebskraft continuirlich zur Verfügung steht, so kann diese Kraft durch Tag und Nacht aufgespeichert werden, um dann dieses Lager in beliebigen Zeitperioden, sei es zur Beleuchtung, sei es zur Krafterzeugung, auszunutzen; immerhin ist es sogar möglich, mit einer während einer langen Zeit aufgespeicherten schwachen Kraft eine sehr grosse Kraftäusserung zu gewinnen, natürlich nur eine relativ kurze Zeit hindurch.

Andererseits ist die Anwendung der Accumulatoren auch so zu sagen in dem Falle nothwendig, wo es nicht möglich oder wenigstens sehr schwierig ist, eine Kraftmaschine, z. B. eine Dampfmaschine, aufzustellen, oder wo es unmöglich ist, die Elektricität zu einem Elektromotor direct hinzuführen. Die Accumulatoren werden so in neuerer Zeit häufig verwendet, um kleine Boote zu treiben. Auch für elektrische Eisenbahnen wurden sie schon verwendet, doch sind sie hier nicht vortheilhaft, da ihr eigenes Gewicht vorläufig noch zu gross ist im Verhältniss zu der in denselben aufgespeicherten Kraft. Das Kilogramm eines Accumulators kann 2—4000kgm elektrische Energie aufnehmen, d. h. für eine Pferdekraftstunde sind circa 100kg Accumulatoren erforderlich. Für eine Geschwindigkeit von ungefähr 20km

Digitized by Google

per Stunde beträgt das Gewicht der Accumulatoren 1/4 der fortbewegten Last, für eine Geschwindigkeit von 10km beträgt dasselbe noch 1/8 der Last.

Vortheilhafter liegen die Verhältnisse bei der Fortbewegung von Booten. Hier werden die Accumulatoren zugleich als nützlicher Ballast verwendet. Die Electrical Power Storage Co., welche die *Faure-Sellon-Volkmar*-Accumulatoren ausbeutet, hat schon mehrere solcher Schiffe gebaut, welche 40 und mehr Personen zu tragen vermögen und in fortwährendem Betrieb sind. Sie sind besonders geeignet auch für kriegerische Zwecke, da sie geräuschlos arbeiten, jeden Augenblick reisefertig und auf grössere Entfernungen wegen Abwesenheit des Rauches und eines Kamins unsichtbar sind. In der That hat die englische Admiralität bereits mehrere solcher Boote als Probe bestellt. Auch während der elektrischen Ausstellung in Wien fuhr ein solches Schiff auf der Donau.

So ist denn das Project thatsächlich verwirklicht worden, welches schon vor 40 Jahren Professor *Jacobi* in Petersburg auf der Newa auszuführen suchte, gegenwärtig freilich mit Hülfsmitteln, von denen derselbe damals noch keine Ahnung hatte.

Digitized by Google

Anhang.

Die Maass-Einheiten des absoluten oder C. G. S. Systems.

a. Mechanische Einheiten:

1) Längen-Einheit: 1 Centimeter (C) = $\frac{1}{100}$ der Länge des Maassstabes, der von *Borda* angefertigt wurde und in den Kellern des Observatoriums von Paris aufbewahrt wird. (Dim. C^1.)

2) Massen-Einheit: 1 Gramm (G) = der Masse von 1 ccm destillirten Wassers im Zustande seiner grössten Dichte (bei 4° Cels.) (Dim. G^1.)

3) Zeit-Einheit: 1 Secunde (S) = 86 400. Theil des mittleren Sonnentages. (Dim. S^1.)

4) Kraft-Einheit: 1 Dyne (D) = die Kraft, welche eine Secunde lang auf die Masse 1 Gramm wirkend dieser die Geschwindigkeit 1 cm in der Secunde ertheilt. (Dim. CGS^{-2}.)

Technische Einheit: 1 Kilogramm = 98 100 Dynen.

5) Arbeits-Einheit: 1 Erg (E) = die Arbeit, welche von der Kraft 1 verrichtet wird, wenn dieselbe die Entfernung 1 cm zurücklegt. (Dim. $C^2 GS^{-2}$).

Technische Einheiten: 1 Meterkilogramm = 98 100 000 Erg.

1 Watt = $\frac{1}{9.81}$ Meterkilogramm
= 1 Volt-Ampère.

1 Pferdestärke = 75 Meterkilogramm
= 736 Watt.

1 Horsepower = 76 Meterkilogramm
= 746 Watt.

Digitized by Google

6) Einheit des Effectes ist die in der Secunde geleistete Arbeit. (Secunden Erg.) (Dim. $C^2 G S^{-2}$.)

Technische Einheiten: 1 Secunden-Meterkilogramm = 98 100 000 Secunden Erg.

1 Secunden-Pferdestärke = 75 Secunden-Meterkilogramm.

b. Elektrische Einheiten (Elektromagnetisches System):

1) Einheit der Elektricitätsmenge ist diejenige Menge von Elektricität, welche, auf eine gleich grosse Menge wirkend, die 1 cm weit entfernt ist, eine Kraft gleich einer Dyne ausübt. (Dim. $C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}}$.)

Technische Einheit: 1 Coulomb = 10^{-1} ($C G S$) Einheiten.

2) Einheit der Stromstärke ist diejenige Stromstärke, welche durch den Drahtquerschnitt in 1 Secunde 10 Coulomb befördert. (Dim. $C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-1}$.)

Technische Einheit: 1 Ampère = 10^{-1} ($C G S$) Einheiten.

3) Einheit der Spannung ist diejenige Spannung (Potential-Differenz) zwischen zwei Puncten, welche den Aufwand der Krafteinheit (1 Dyne) erfordert, um 10 Coulomb von einem Puncte zum andern zu bewegen unter Ueberwindung der elektrischen Abstossung. (Dim. $C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-2}$.)

Technische Einheit: 1 Volt = 10^8 ($C G S$) Einheiten.

4) Einheit des Widerstandes ist derjenige Widerstand, welcher der Elektricitätsmenge 1 (10 Coulomb) den Uebergang zwischen zwei Puncten mit der Spannung 1 (10^{-8} Volt) in einer Secunde gestattet. (Dim. $C S^{-1}$.)

Technische Einheit: 1 Ohm = 10^9 ($C G S$) Einheiten.

5) Einheit der Capacität ist diejenige Capacität, welche mit der Spannung 1 (10^{-8} Volt) geladen, die Elektricitätsmenge 1 (10 Coulomb) enthält. (Dim. $C^{-1} S^2$.)

Technische Einheit: 1 Farad = 10^{-9} ($C G S$) Einheiten.

Diese Einheiten mit 10^6 multiplicirt oder dividirt heissen mega .., mikro ..

Digitized by Google

Willkürliche Widerstands-Einheiten

(Report of the Committee on electrical standard).

	Ohm.	Siemens.	Meter / Sec.	Digney.	Varley.	Jacobi.	Deutsche Meile.
Ohm	1,000	1,0486	1,088	0,1079	0,03905	1,570	0,01741
Siemens	0,9537	1,000	1,038	0,1030	0,03726	1,498	0,01661
Meter / Sec. $\cdot 10^7$ (Weber)	0,9191	0,9635	1,000	0,09919	0,03591	1,444	0,01655
Digney (1 km Eisendr. 4mm)	9,266	9,71	10,08	1,000	0,3620	14,56	0,1613
Varley (1 Meile Kupferdraht 1/16 Zoll)	25,61	26,83	27,85	2,763	1,000	40,21	0,4457
Jacobi (25 Fuss Kupferdraht 345 gran)	0,6367	0,6674	0,6925	0,06869	0,02486	1,000	0,01108
Deutsche Meile (Eisendraht 1/8 Zoll)	57,44	60,20	62,48	6,198	2,243	90,22	1,000

Nach *Siemens & Halske* ist 1 Ohm = 1,0615 Siemens.

Willkürliche Strom-Einheiten.

	Ampère.	Daniell / Siemens.	Jacobi.	Silber.	Kupfer.
Ampère	1,000	0,85	10,52	67,65	19,86
Daniell-Siemens	1,17	1,00	12,31	79,15	23,23
Jacobi (Knallgas ccm 1 Min.)	9,58	0,082	1,00	6,48	1,89
Silber (Niederschl. 1 mgr 1 M.)	1,48	0,013	0,156	1,00	0,294
Kupfer (Niederschl. 1 mgr 1 M.)	5,02	0,043	0,529	3,40	1,00

Normal-Elemente.

1 Daniell [Zn, $Zn\,SO_4$ (1,18), $Cu\,SO_4$ (1,15), Cu] = 1,11 Volt
1 „ [Zn, $H_2\,SO_4$ (1,15), $Cu\,SO_4$ (1,15), Cu] = 1,19 „
1 „ Post-office of London . . . . . = 1,07 „
1 Element Latimer Clark . . . . . = 1,46 „
1 „ Bunsen . . . . . = 2,05 „
1 „ Grove . . . . . = 2,06 „

(Die eingeklammerten Zahlen bezeichnen die Dichten der Elektrolyte für Wasser = 1,00).

Vergleichung der verschiedenen Drahtmaasse.

Für die nachstehenden Tabellen sei bemerkt, dass 1 Millimeter (laut Scient. Amer.) = 0,0393685 engl. Zoll ist.

Die drei im Gebrauch befindlichen Systeme sind:

Brown und Sharpe's American Wire Gauge (Bezeichnung *Am. W. G.* oder *B. & S. W. G.*;

Stubs oder Birmingham Wire Gauge (Bezeichnung *B. W. G.*);

Old English oder London Wire Gauge.

Digitized by Google

A. Approximativ correspondirende Nummern dieser 3 Maasse:

Brown & Sharpe. №	Birmingham Wire Gauge.	Old English.	Brown & Sharpe. №	Birmingham Wire Gauge.	Old English.	Brown & Sharpe. №	Birmingham Wire Gauge.	Old English.
0000	0000—1/4	0000—1/4	12	14 1/4	14 1/4	27	28	29 1/2
000	000 1/2	000 1/2	13	15	15	28	29 1/2	30 1/2
00	00 1/2	00 1/2	14	16	16	29	30 1/2	32
0	0 1/2	0 1/2	15	17	17	30	31	33 1/4
1	1 2/3	1 2/3	16	17 3/4	17 3/4	31	32	35
2	3	3	17	18 1/2	18 1/2	32	33	35 3/4
3	4 1/2	4 1/2	18	19 1/4	19	33	34	36 1/2
4	6	6	19	19 3/4	19 3/4	34	34 1/4	37 1/4
5	7	7	20	21	21	35	34 3/4	38 1/4
6	8	8	21	22	22 1/2	36	35	39 1/2
7	9 1/2	9 1/2	22	23	24	37	35 1/2	40
8	10 1/2	10 1/2	23	23 3/4	25 1/4	38	36	—
9	11 1/2	11 1/2	24	25	26	39	—	—
10	12 1/2	12 1/2	25	26	27 1/2	40	—	—
11	13 1/2	13 1/2	26	27	28 1/2	—	—	—

Die im Handel vorkommenden Maasse für die Birmingham und die Old English Wire Gauge sind mit der Zeit so verschieden geworden, dass man sich nicht mehr viel darauf verlassen kann.

B. Dicken der Drähte für dieselben Nummern der verschiedenen Maasse in Decimalen von engl. Zoll.
(1 mm = 0,0393685 Zoll). (1 Zoll = 25,40102 mm.)

№	Old English.	Birmingh. W. G.	Brown & Sharpe.	№	Old English.	Birmingh. W. G.	Brown & Sharpe.
0000	0,454	0,454	0,46000	19	0,040	0,042	0,03539
000	0,425	0,425	0,40964	20	0,035	0,035	0,03196
00	0,380	0,380	0,36480	21	0,0315	0,032	0,02846
0	0,340	0,340	0,32495	22	0,0295	0,028	0,02535
1	0,300	0,300	0,28930	23	0,0270	0,025	0,02257
2	0,284	0,284	0,25763	24	0,0250	0,022	0,02010
3	0,259	0,259	0,22942	25	0,0230	0,020	0,01790
4	0,238	0,238	0,20431	26	0,0205	0,018	0,01594
5	0,220	0,220	0,18194	27	0,01875	0,016	0,01419
6	0,203	0,203	0,16202	28	0,01650	0,014	0,01264
7	0,180	0,180	0,14428	29	0,01550	0,013	0,01126
8	0,165	0,165	0,12849	30	0,01375	0,012	0,01002
9	0,148	0,148	0,11443	31	0,01225	0,010	0,00893
10	0,134	0,134	0,10189	32	0,01125	0,009	0,00795
11	0,120	0,120	0,09074	33	0,01025	0,008	0,00708
12	0,109	0,109	0,08081	34	0,00950	0,007	0,00630
13	0,095	0,095	0,07196	35	0,00900	0,005	0,00561
14	0,083	0,083	0,06408	36	0,00750	0,004	0,00500
15	0,072	0,072	0,05707	37	0,00650	—	0,00445
16	0,065	0,065	0,05082	38	0,00575	—	0,003965
17	0,058	0,058	0,04525	39	0,00500	—	0,003531
18	0,049	0,049	0,04030	40	0,00450	—	0,003144

Digitized by Google

C. Gewichts- und Widerstands-Tabelle für reinen Kupferdraht (von Lake Superior, V. S. A.).
Die Nummern sind die von Brown und Sharpe's americanischem Drahtmaass
Fuss und Pfund sind englisches Maass.

№	Pfund per 1000 Fuss.	Fuss per Pfund: mit Baumwolle besponnen.	mit Seide besponnen.	Nackt.	Widerstand des nackten Kupfers bei 75° Fahrenheit: Ohm per 1000 Fuss.	Ohm per engl. Meile = 5280 Fuss.	Fuss per Ohm.	Ohm per Pfund.
0000	639,33	—	—	1,56	0,051	—	19605,69	0,0000798
000	507,01	—	—	1,97	0,064	—	15547,87	0,000127
00	402,09	—	—	2,49	0,081	—	12330,36	0,000202
0	319,04	—	—	3,13	0,102	—	9783,63	0,000320
1	252,88	—	—	3,95	0,129	—	7754,66	0,000510
2	200,54	—	—	4,99	0,163	—	6149,78	0,000811
3	159,03	—	—	6,29	0,205	—	4876,73	0,001289
4	126,12	—	—	7,93	0,259	—	3867,62	0,00205
5	100,01	—	—	10,00	0,326	—	3067,06	0,00326
6	79,32	—	—	12,61	0,411	—	2432,22	0,00518
7	62,90	—	—	15,90	0,519	—	1928,75	0,00824
8	49,88	—	—	20,05	0,654	3,3	1529,69	0,01311
9	39,56	—	—	25,28	0,824	4,1	1213,22	0,02083
10	31,37	—	—	31,88	1,040	4,4	961,91	0,03314
11	24,88	—	—	40,20	1,311	6,4	762,93	0,05269
12	19,73	42	46	50,69	1,653	8,3	605,03	0,08377
13	15,65	55	60	63,91	2,584	10,4	479,80	0,13321
14	12,41	68	75	80,59	2,628	13,2	380,51	0,2118
15	9,84	87	95	101,63	3,314	16,7	301,75	0,3368
16	7,81	110	120	128,14	4,179	23	239,32	0,5355
17	6,19	140	150	161,59	5,269	26	189,78	0,8515
18	4,91	175	190	203,76	6,645	33	150,50	1,3539
19	3,78	220	240	264,26	8,617	43	116,05	2,2772
20	3,09	280	305	324,00	10,566	53	94,65	3,423
21	2,45	360	390	408,56	13,323	68	75,06	5,443
22	1,94	450	490	515,15	16,799	85	59,53	8,654
23	1,54	560	615	649,66	21,185	108	47,20	13,763
24	1,22	715	775	819,21	26,713	135	37,43	21,885
25	0,97	910	990	1032,96	33,684	170	29,69	34,795
26	0,77	1165	1265	1302,61	42,477	214	23,54	55,331
27	0,61	1445	1570	1642,55	53,563	270	18,68	87,979
28	0,48	1810	1970	2071,22	67,542	343	14,81	139,893
29	0,38	2280	2480	2611,82	85,170	432	11,74	222,449
30	0,30	2805	3050	3293,97	107,391	538	9,31	353,742
31	0,24	3605	3920	4152,22	135,402	685	7,39	562,221
32	0,19	4555	4930	5236,66	170,765	865	5,86	894,242
33	0,15	—	6200	6602,71	215,312	1088	4,64	1421,646
34	0,12	—	7830	8328,30	271,583	1389	3,68	2261,82
35	0,10	—	9830	10501,35	342,443	1820	2,92	3596,10
36	0,08	—	12420	13238,83	431,712	2200	2,32	5715,36
37	0,06	—	—	16691,06	544,287	2874	1,84	9084,71
38	0,05	—	—	20854,65	686,511	3625	1,46	14320,26
39	0,04	—	—	26302,23	865,046	4567	1,16	22752,60
40	0,03	—	—	33175,94	1091,865	5765	0,92	36223,59

Digitized by Google

D. Annäherader Werth der Decimalstellen in den gebräuchlichen Bruchtheilen eines engl. Zoll.

1/64 = 0,0156	1/8 = 0,1250	15/64 = 0,2343
1/32 = 0,0312	9/64 = 0,1406	1/4 = 0,25
3/64 = 0,0468	5/32 = 0,1562	17/64 = 0,2656
1/16 = 0,0625	11/64 = 0,1718	9/32 = 0,2812
5/64 = 0,0781	3/16 = 0,1875	19/64 = 0,2968
3/32 = 0,0937	13/64 = 0,2031	5/16 = 0,3125
7/64 = 0,1093	7/32 = 0,2187	21/64 = 0,3381

E. Maasse im Decimal-System. (Nach Bréguet.)

Zahl der Meter für 1 Kilogr. nacktes Kupfer.	Durchmesser in Millimeter.	Nummer der Jauge décimale.	Zahl der Meter für 1 Kilogr. nacktes Kupfer.	Durchmesser in Millimeter.	Nummer der Jauge Carcasse.
10	4,4	20	1 630	0,28	24
16	3,4	18	2 400	0,26	26
19	3,0	17	3 205	0,24	28
26	2,7	16	4 100	0,22	29
30	2,4	15	5 180	0,20	30
34	2,2	14	5 800	0,18	31
40	2,0	13	6 410	0,16	32
54	1,8	12	7 000	0,14	33
66	1,6	11	8 500	0,11	34
70	1,5	10	10 000	0,09	36
75	1,4	9	13 500	0,08	40
85	1,3	8	16 000	0,06	44
100	1,2	7	22 000	0,04	50
137	1,1	6	—	—	—
160	1,0	5	—	—	—
180	0,9	4	—	—	—
208	0,8	3	—	—	—
330	0,7	2	—	—	—
418	0,6	1	—	—	—
545	0,5	P.	—	—	—
		Jauge Carcasse.			
645	0,47	12	—	—	—
685	0,44	14	—	—	—
748	0,40	16	—	—	—
1020	0,37	18	—	—	—
1300	0,34	20	—	—	—
1450	0,31	22	—	—	—

Digitized by Google

Tabelle über Dimensionen, Länge, Widerstand und Gewicht des reinen Kupferdrahtes.

Ein Draht von chemisch reinem Kupfer von 1 m Länge und 1 mm Durchmesser wiegt 6,990 gr und hat einen Widerstand von 0,022156 Ohm bei 15° Cels. Wenn w_t der Widerstand des Kupfers bei $t°$, w_{15} derjenige bei 15° ist, so ist

$$w_{15} = w_t\,[1-0{,}0038\,(t-15°).]$$

Durchmesser. mm.	Umfang. mm.	Querschnitt. qmm.	Kilogr. per 1 m.	Meter per 1 kg.	Ohm per 1 km.	Kilometer per 1 Ohm.
0,5	1,5708	0,1963	0,00175	572,23	88,624	0,01126
1,0	3,1416	0,7854	0,00699	143,06	22,156	0,04513
1,5	4,7124	1,7671	0,01573	63,58	9,8472	0,10155
2,0	6,2832	3,1416	0,02796	35,77	5,5390	0,1805
2,5	7,8540	4,9087	0,04369	22,83	3,5450	0,28147
3,0	9,4248	7,0686	0,06291	15,89	2,4618	0,40621
3,5	10,996	9,6211	0,08562	11,68	1,8088	0,55278
4,0	12,566	12,566	0,1118	8,942	1,3848	0,72216
4,5	14,137	15,904	0,1415	7,068	1,0942	0,91398
5,0	15,708	19,635	0,1747	5,722	0,8862	1,1259
5,5	17,279	23,758	0,2114	4,730	0,7325	1,3652
6,0	18,850	28,274	0,2516	4,974	0,6155	1,6249
6,5	20,420	33,183	0,2938	3,404	0,5244	1,9069
7,0	21,991	38,484	0,3425	2,920	0,4522	2,2114
7,5	23,562	44,179	0,3932	2,543	0,3939	2,5332
8,0	25,133	50,265	0,4474	2,235	0,3462	2,8886
8,5	26,704	56,745	0,5050	1,980	0,3067	3,2608
9,0	28,274	63,617	0,5662	1,766	0,2735	3,6559
9,5	29,845	70,882	0,6308	1,585	0,2455	4,0744
10,0	31,416	78,540	0,6990	1,431	0,2216	4,5135
11,0	34,558	95,033	0,8458	1,182	0,1831	5,4608
12,0	37,699	113,097	1,0066	1,243	0,1539	6,4994
13,0	40,841	132,732	1,1813	0,850	0,1311	7,6278
14,0	43,982	153,938	1,3700	0,7299	0,1130	8,8457
15,0	47,124	176,715	1,5727	0,6358	0,09847	10,1549
16,0	50,265	201,062	1,7894	0,5589	0,08655	11,5545
17,0	53,407	226,980	2,0201	0,4950	0,07667	13,0431
18,0	56,549	254,469	2,2648	0,4415	0,06838	14,6237
19,0	59,690	283,529	2,5234	0,3963	0,06137	16,2973
20,0	62,832	314,159	2,7960	0,3577	0,05539	18,0540
25,0	78,540	490,874	4,3688	0,2283	0,03545	28,1470
30,0	94,248	706,858	6,2910	0,1589	0,02462	40,6215
35,0	109,96	962,113	8,5625	0,1168	0,01809	55,2785
40,0	125,66	1256,64	11,1846	0,08942	0,01385	72,2160
45,0	141,37	1590,43	14,1538	0,07068	0,01094	91,3980
50,0	157,08	1963,50	17,4752	0,05722	0,00886	112,588

Digitized by Google

Spannung und scheinbarer Widerstand des Lichtbogens von verschiedener Länge.

(Nach Frölich, vergl. S. 407.)

Bogenlänge in Millimeter.	Spannung in Volt.	Widerstand in Ohm bei Stromstärke in Ampère =											
		1	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	39,0	39,0	7,80	3,90	2,60	1,95	1,30	0,98	0,78	0,65	0,56	0,49	0,43	0,39
1	40,8	40,8	8,16	4,08	2,72	2,04	1,36	1,02	0,81	0,68	0,58	0,51	0,45	0,41
2	42,6	42,6	8,52	4,26	2,84	2,13	1,42	1,07	0,85	0,71	0,61	0,53	0,47	0,43
3	44,4	44,4	8,89	4,44	2,96	2,22	1,48	1,11	0,89	0,74	0,63	0,56	0,49	0,44
4	46,2	46,2	9,24	4,62	3,08	2,31	1,54	1,16	0,92	0,77	0,66	0,58	0,51	0,46
5	48,0	48,0	9,60	4,80	3,20	2,40	1,60	1,20	0,96	0,80	0,69	0,60	0,53	0,48
6	49,8	49,8	9,96	4,98	3,32	2,49	1,66	1,25	1,00	0,83	0,71	0,62	0,55	0,50
7	51,6	51,6	10,3	5,16	3,44	2,58	1,72	1,29	1,03	0,86	0,74	0,65	0,57	0,52
8	53,4	53,4	10,7	5,34	3,56	2,67	1,78	1,34	1,07	0,89	0,76	0,67	0,59	0,53
9	55,2	55,2	11,0	5,52	3,68	2,76	1,84	1,38	1,10	0,92	0,79	0,69	0,61	0,55
10	57,0	57,0	11,4	5,70	3,80	2,85	1,90	1,43	1,14	0,95	0,81	0,71	0,63	0,57
11	58,8	58,8	11,8	5,88	3,92	2,94	1,96	1,47	1,18	0,98	0,84	0,74	0,65	0,59
12	60,6	60,6	12,1	6,06	4,04	3,03	2,02	1,51	1,21	1,01	0,87	0,76	0,67	0,61
13	62,4	62,4	12,5	6,24	4,16	3,12	2,08	1,56	1,25	1,04	0,89	0,78	0,69	0,62
14	64,2	64,2	12,8	6,42	4,28	3,21	2,14	1,61	1,28	1,07	0,92	0,80	0,71	0,64
15	66,0	66,0	13,2	6,60	4,40	3,30	2,20	1,65	1,32	1,10	0,94	0,83	0,73	0,66
16	67,8	67,8	13,6	6,78	4,52	3,39	2,26	1,70	1,36	1,13	0,97	0,85	0,75	0,68
17	69,6	69,6	13,9	6,96	4,64	3,48	2,32	1,74	1,39	1,16	0,99	0,87	0,77	0,70
18	71,4	71,4	14,3	7,14	4,76	3,57	2,38	1,79	1,43	1,19	1,02	0,89	0,79	0,71
19	73,2	73,2	14,6	7,32	4,88	3,66	2,44	1,83	1,46	1,22	1,05	0,92	0,81	0,73
20	75,0	75,0	15,0	7,50	5,00	3,75	2,50	1,88	1,50	1,25	1,07	0,94	0,83	0,75

Digitized by Google

Tabelle über den Energieverlust und Erwärmung von Kupferdraht-Leitungen.

(Nach *R. Sabine.*)

Die Tabelle gibt für nackte, in der Luft aufgehängte Kupferdrahtleitungen von verschiedenen Durchmessern in cm und für verschiedene Stromstärken in *Ampère* den Energieverlust per 1 km Leitung in Pferdestärken (P. S.) und die Erwärmung der Leitung in Celsiusgraden (Cels.).

Durchmesser.	5 Amp.		10 Amp.		20 Amp.		30 Amp.		40 Amp.		50 Amp.		60 Amp.		70 Amp.		80 Amp.		90 Amp.	
cm	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.
0,1	0,72	21	2,9	82	11,7	330	21,7	740												
0,15	0,32	6	1,1	24	4,4	97	10,0	216												
0,2	0,18	3	0,72	10	2,9	41	6,9	92												
0,25	0,11	1	0,46	5	1,8	21	4,4	47	7,3	85	11,9	120								
0,3	0,08	0,8	0,32	3	1,2	12	3,1	27	5,1	49	8,2	80	12,5	109						
0,35	0,06	0,5	0,23	2	0,92	7	2,2	17	3,7	28	5,9	50	8,8	69	11,3	90	14,9	112	19,9	155
0,4	0,05	0,3	0,18	1	0,72	5	1,7	11	2,9	21	4,5	32	6,9	45	8,9	50	11,7	85	15,2	100
0,5	0,03	0,1	0,11	0,7	0,45	3	1,1	5	1,8	11	2,9	16	4,1	24	5,6	32	7,3	42	9,3	53
0,6	0,02		0,08	0,4	0,32	2	0,77	3	1,3	6	2,0	10	2,9	14	3,9	19	5,1	24	6,5	31
0,7	0,01		0,06	0,2	0,28	1	0,56	2	0,94	4	1,5	6	2,1	9	2,9	12	3,7	15	4,7	19
0,8	0,01		0,05	0,2	0,18	0,6	0,43	1	0,72	3	1,1	4	1,6	6	2,2	8	2,9	10	3,6	13
0,9	0,01		0,04	0,1	0,14	0,4	0,34	1	0,57	2	0,89	3	1,3	4	1,7	6	2,3	7	2,9	9
1,0	0,01		0,04	0,1	0,12	0,3	0,28	0,7	0,46	1	0,72	2	1,0	3	1,4	4	1,8	5	2,3	7
1,1					0,10	0,2	0,23	0,6	0,41	1	0,59	2	0,85	2	1,2	3	1,5	4	1,9	5
1,2					0,09	0,2	0,19	0,4	0,32	0,8	0,50	1	0,72	2	0,98	2	1,3	3	1,6	4
1,3							0,16	0,3	0,27	0,6	0,42	1	0,61	1	0,83	2	1,1	2	1,4	3
1,4							0,14	0,2	0,23	0,5	0,37	0,8	0,53	1	0,72	2	0,94	2	1,2	2
1,5							0,13	0,2	0,20	0,4	0,32	0,6	0,46	0,9	0,62	1	0,81	2	1,0	2
1,6									0,18	0,4	0,28	0,5	0,40	0,8	0,55	1	0,72	1	0,91	2
1,7											0,25	0,4	0,36	0,6	0,49	0,8	0,64	1	0,81	1
1,8											0,22	0,3	0,32	0,5	0,43	0,7	0,57	0,9	0,71	1
1,9													0,29	0,4	0,39	0,6	0,51	0,8	0,64	1
2,0													0,26	0,4	0,35	0,5	0,46	0,7	0,58	1

Durchmesser.	100 Amp.		200 Amp.		300 Amp.		400 Amp.		500 Amp.		600 Amp.		700 Amp.		800 Amp.		900 Amp.		1000 Amp.	
cm	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.	P. S.	Cels.
0,6	8,0	38	32	150																
0,7	5,8	24	28	96																
0,8	4,5	16	18	64	40	145														
0,9	3,5	11	14	45	31	99														
1,0	2,9	8	11,5	33	26	72														
1,1	2,4	6	9,5	25	22	54	38	100												
1,2	2,0	5	8,0	19	18	45	32	76												
1,3	1,7	4	6,8	15	15	34	27	60	42	106										
1,4	1,5	3	5,9	12	13	27	24	48	37	78	53	100								
1,5	1,3	2	5,1	10	11	22	20	39	32	60	46	90								
1,6	1,1	2	4,5	8	10	18	18	32	28	50	40	74								
1,7	1,0	2	4,0	7	8,9	15	16	27	25	45	36	60								
1,8	0,9	1	3,5	6	8,0	13	14	23	22	35	32	52								
1,9	0,8	1	3,1	5	7,1	11	13	19	20	30	29	44								
2,0	0,7	1	2,9	4	6,4	9	11	16	18	25	26	37	35	48	45	65	58	80	72	100
2,2	0,6	1	2,4	3	5,3	7	9,5	12	15	19	21	28	30	38	38	48	47	63	60	76
2,4	0,5	1	2,0	2	4,5	5	8,0	10	13	15	18	21	25	30	32	40	41	47	52	60
2,6	0,5	1	1,7	2	3,8	4	6,8	8	11	12	15	17	21	24	27	32	34	37	44	47
2,8	0,4	1	1,4	2	3,3	3	5,8	6	9,1	9	13	13	18	18	23	24	30	30	36	36
3,0			1,3	1	2,9	3	5,1	5	8,0	8	11	11	16	15	20	20	26	25	32	30
3,2			1,2	1	2,5	2	4,5	4	7,0	6	10	9	13	12	18	16	23	20	28	25
3,4					2,2	2	3,9	3	6,2	5	8,7	8	12	10	16	13	20	17	25	21
3,6					2,0	2	3,5	3	5,4	4	7,9	6	11	9	14	11	18	14	22	18
3,8					1,8	2	3,2	2	5,0	4	7,1	5	10	7	12	9	16	12	20	15
4,0									4,5	3	6,4	5	8,8	6	11	8	15	10	18	12
4,5									3,5	2	5,1	3	6,9	4	9,1	6	11	7	14	9
5,0											4,1	2	5,6	3	7,3	4	9,3	5	11	6
5,5													4,7	2	6,1	3	7,7	4	9,5	5
6,0															5,1	2	6,4	3	7,9	4

Digitized by Google

Leistungsfähigkeit der dynamo-elektrischen Maschinen von Siemens.

Nach Sir W. Siemens (Institution of Civil-engineers in London, 15. März 1883).

Bezeichnung der Maschine.	Zahl der Swan-Lampen.	Verbrauchte Energie in Watt				Energie in Leitung % der totalen.	Total-Gewicht des Kupfers der Maschine. kg.	Watt in der Leitung per 1 kg Kupfer der Maschine.	Mittlere Geschwindigkeit des Inductor per Sec. in Meter.	Watt in Leitung per 1 kg Kupfer per 1 m Geschwind.	Watt total per 1 kg Kupfer per 1 m Geschwind.
		im Inductor.	in den Elektro-magneten.	in der Leitung und Lampe.	Total.						
SD_5	12	120	248	796	1164	68,5	19,50	40,9	9,50	4,3	6,3
SD_7	2×25	308	370	3316	3994	83,0	51,25	64,7	13,75	4,7	5,9
	40	328	233	2653	3214	82,6	64,00	41,5	10,75	3,9	4,7
SD_3	2×30	536	319	3980	4835	82,3	119,0	33,4	9,25	3,6	4,4
	60	526	326	3980	4832	82,4	118,5	33,6	9,50	3,6	4,3
SD_1	2×60	803	532	7959	9294	85,6	264,0	30,1	10,25	2,9	3,4
	3×50	615	1200	9949	11764	84,6	264,0	37,7	13,00	2,9	3,6
DSD_{00} ..	2×150	2080	2562	19890	24532	81,7	389,0	51,1	10,75	4,8	5,9
D_1	400	1654	2665	26532	30851	86,0	368,0	72,1	13,75	5,2	6,1
W_3	60	193	456	3979	4628	81,7	105,0	38,5	18,25	2,1	2,6
D_5	—	97	143	—	4868	—	—	—	—	—	—
W_6	90	335	595	5969	6899	82,4	141,0	42,3	20,50	2,1	2,5
D_6	—	121	220	—	7240	—	—	—	8,15	—	—
W_2	120	630	633	7959	9222	83,5	163,0	48,8	22,00	2,2	2,7
D_6	—	107	194	—	9523	—	—	—	9,25	—	—
W_1	200	1307	1257	13266	15830	83,7	237,0	56,0	24,00	2,3	2,8
D_7	—	110	94	—	16034	—	—	—	10,75	—	—
W_5	400	1084	1496	24030	26560	89,7	227,0	106,0	28,90	3,7	4,1
D_7	—	117	100	—	26777	—	—	—	11,15	—	—
W_0	500	1537	2375	33165	37077	88,5	384,0	86,4	32,50	2,6	3,0
D_2	—	177	206	—	37460	—	—	—	9,50	—	—

D Trommelmaschinen mit einfacher Schaltung.....(S. 240 und ff.)
SD „ „ Wheatstone-Schaltung .....(S. 361.)
DSD „ „ Compound-Schaltung .....(S. 374.)
W Wechselstrommaschinen.....(S. 317 und ff.)
1 Swan-Lampe braucht 45 Volt, 1,34 Ampère.

Digitized by Google

Namen- und Sachverzeichniss.

Accumulatoren 880; *Planté*, 881, 888; Briquet de Saturne, 887; *Faure*, 890; *Kabath* 891; *Faure-Sellon-Volkmar*, 891; *O. Schulze*, 892.

Adams, 647.

Aequivalenz zwischen mech. und el. Energie 68.

Allard, Glanz des el. Lichtes, 411.

Ampère's Solenoid, 11; Theorie des Magnets, Molekularströme, 12; el.-dynam. Gesetze, 14.

Ampère-Meter, 72; von *Weston*, 704.

André, el. Lampe, 578.

Andrew, el. Lampe, 624.

Anfangsmotor (Betriebsmasch.), 834.

Anlage eines el. Triebwerks, 843.

Anker des Elektromagnets, 2.

Anwendung der Kraftübertragung 854; — der Accumulatoren, 893; — der el. Beleuchtung, 768; — der el. Beleuchtung zum Anhalter Bahnhof in Berlin, 778; — des Glühlichts zu medicinischen Zwecken, 785; — des el. Lichtes für photographische Zwecke, 791; — des el. Lichtes zum Wachsthum der Pflanzen, 791; — der Handmaschinen, 816; — des el. Stromes zur Kauterisation, 818; — der dynamo-el. Maschinen zum Schmelzen von Stahl und Eisen, 818; — zu chemischen Zwecken, 819; — zu galvanoplastischen Arbeiten, 821; — zur Entfuselung des Alkohols, 827; — zu telegraphischen Zwecken, 828.

Anziehung eines Eisenstabs durch ein Solenoid, 17.

Arbeitsverbrauch und Lichtstärke, 434.

Archereau, 515; - Kohlenstäbe, 422.

Armatur, verschiedene Arten, 378; Scheibenarmatur, 384.

Aufzug, el., 867.

Ausschalter für Nebenschluss-Maschinen, 749; — für Bogenlampen, 754.

Automatische Strom-Regulirung von *Hiram Maxim*, 715.

Ayrton, das Dynamometer, 60; — *Ampère*-Meter, *Volt*-Meter, 72.

Ayrton & Perry, das Elektrodynamometer, 78; — Zerstreuungs-Photometer, 87.

Batterie von *Planté*, 888.

Baur, dynamo-el. Maschine, 156.

Bell, Telephon, 29.

Beleuchtung, el., 764.

Becquerel, Temperatur des Lichtbogens, 760; Kosten des el. Lichtes, 795.

Beringer, Kosten der Anlagen eines el. Triebwerks, 843.

Betriebs-Apparate, 695.

Betriebs-Tabelle von Lampen und Kerzen, 633.

Bewegung eines Ringes im homogenen und nicht homogenen el. Feld, 56.

Blei-Einschaltungen von *Edison*, 738.

Bogenlampe von *Foucault & Duboscq*, 463; — *Serrin*, 470; — *Crompton*, 479; — *Bürgin*, 483; — *Siemens & Halske*, 486; — *Jaspar*, 492; — *Dornfeld*, 497; — *Schuckert*, 505; — Locomotiv- und Schiffslampe, *Sedlaczek & Wikulill*, 506; — *Wallace*, 511; weitere s. S. 515. Nebenschlusslampen: *Serrin-Lontin*, 530; — *Gramme*, 531; — *Mersanne*, 533; — *Gérard*, 537; — *Lever*, 539. Differential-Lampen: *Siemens & Halske* (*v. Hefner-Alteneck*), 543; — *Crompton*, 551; — *Bürgin*, 553; — *Fontaine*, 554; — *Weston*, 558; — neue von *Weston*, 565; — *Brush*, 569; — Doppellampe von *Brush*, 576; — *Tchikoleff*, 579; - *Schuckert*, 581; - *Krizik-Piette*, 583; — *Schmidt*, 589. Lampen zur Parallelschaltung: *Gülcher*, 591. *Brockie's* System — *Brockie*, 599. El. Kerzen, *Jablochkoff*, 601; — *Jamin*, 618; — *Andrew*, 625; — *Rapieff*, 626; — *Heinrichs*, 628; — Soleil, 629; — el. Kerze *Debrun*, 632.

Bogenlampe, Sicherheitsschluss, 753; — Ausschalter, 754.

Borel, Motor, 873.

Bouliguine, Glühlampe, 653.

Digitized by Google

Brems-Dynamometer, 65.
Brockie, el. Lampe, 599.
Brush, Lichtmaschine, 158, — dyn.-el. Maschine, 159; — vollständiger Ring, 161; — Commutator, 162; — dreitheiliger Ring-Commutator, 166; — Dimensionen und Leistungen der Maschine, 166; — Lampe, 569; Doppellampe, 576; — für Strassenbeleuchtung, 577.
Briquet de Saturne, secundäres Element, 887.
Bürgin, dyn.-el. Maschine, 286; — Lampe, 483; — Differential-Lampe, 553; — Motor, 875.
Burstyn, Schaltung der Masch. 717.
Bürsten, 184; 699.
Cabinetsmaschinen, 186; — *Siemens & Halske*, mit Riemenbetrieb, 238.
Canalisirter Ringanker von *Heinrichs*, 224.
Canalisation der Elektricität, 724; — Theorie, 755.
Canalisations-System v. *Edison*, 735.
Cardew, Bremsung der Eisenbahnzüge, 876.
Carré, Herstellung der Kohlenstäbe, 422; 515.
Chatham, Militär-Ingenieurschule, Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen, 210; 248; 453.
de Changy, Theilung des el. Lichtes, 523.
Charakteristische Curve von *Marcel Deprez*, 361; — für separirte Schaltung, 368.
Chertemps, 515.
Chrétien-Felix, 855.
Clark, magn.-el. Maschine, 93.
Cohn, Wirkung des el. Lichtes auf das menschliche Auge, 793.
Collector der Trommelmaschine von *Siemens & Halske*, 231; — verschiedene, 386.
Combinirte Maschine (*Compound*), 370; 374.
Commutator, 94.
Compound-Maschine, 370; 374.
Constanter Spannung, Maschine mit, 368.
Crompton, Helligkeitsgrade, 420; — el. Lampe, 480; — Differentiallampe, 553; — Laterne, 552.
Cruto, Glühlampe, 688.
Curmer, Herstellung der Kohlenstäbe, 421.
Davy, Lichtbogen, 397; — Kohlen, 420.
Debrun, el. Kerze, 612.
Decker, Vergleichung der Beleuchtungskosten, 812.
Deleuil, Kohlenstäbe, 422; — Theilung des el. Lichtes, 517.
Deprez, Galvanometer, 72; — Theorie der dynamo-el. Maschinen, 345; — charakteristische Curve, 362; — Länge des Lichtbogens, 397; — Maschine mit constanter Spannung, 371; — Maschine mit constanter Stromstärke, 372; — Kraftübertragung in München, 850; — Kraftübertragung im Bahnhofe du Nord in Paris u. in Grenoble, 850; — Klein-Motoren, 872.
Diagramm für verschiedene Collectoren, 388.
Differentiallampen, vgl. Bogenlampen.
Differentiallampe, Stromschema, 528; — Princip derselben, 542.
Differentialmagnet von *Weston*, 560.
Doppellampe von *Brush*, 578.
Dornfeld, el. Lampe, 497; — Nebenlampe, 503.
Douglass, vergleichende Versuche mit Lichtmaschinen, 446.
Drahtmaasse, vgl. Anhang 901.
Dubos, 515.
Duboscq, el. Lampe, 469.
Dynamo-el. Maschinen: das *Siemens*'sche Princip, Priorität von *Siemens*, 128; — Geschichte derselben, 129; — *Siemens*, 137; — *Ladd*'s zweicylindrige, 145; — *Siemens & Halske*'s zweicylindrige, 151; — *Weston*, 153; — *Möhring & Baur*, 156; — *Brush*, Lichtmaschine, 158; — zur Erzeugung continuirlicher Ströme: *Gramme*, 189, 194; — *Fuller-Gramme*, 203; — *Fein*, 212; — *Schuckert*, 215; — *Desmond, G. Fitzgerald*, 225; — *Gülcher*, 227; — magnet- und dynamo-el. Trommel-Maschine von *Siemens & Halske*, 228, 236; — Trommel-Maschine, *Siemens & Halske*, 240; — von denselben für Reinmetall-Gewin-

Digitized by Google

nung, 248; — *Weston*, 251; — *Maxim*, 263; — *Edison*, 266; — *Jürgensen*, 275; — *Wallace-Farmer*, 280; — *Lontin*, 283; — *Bürgin*, 286; — *v. Hefner-Alteneck*, 291. Wechselstrom-Maschinen: *Lontin*, 301; — *Gramme*, 306; — *Jablochkoff*, 315; — *Siemens & Halske*, 317; — *Müller-Levett*, 324; *Lachaussée*, 325; — *Gordon*, 327; — *Ferranti-Thomson*, 335; — *Elphinstone-Vincent*, 339; — unipolare Maschine, 340; — Theorie derselben, 363; — mit constanter Spannung, 368; — nach *Deprez*, 371; — nach *Thompson*, 375; — mit constanter Stromstärke nach *Deprez*, 372; — nach *Perry*, 373; — mit *Compound*-Schaltung nach *Brush*, 374.

Dynamometer, *Ayrton-Perry*, 60; 78; — *v. Hefner-Alteneck*, 62; 64.

Edison, Registrir-Apparat (Verbrauchsmesser), 79; 742; — automatischer Strommesser, 745; — Photometer, 86; — dynamo-el. Maschine *E*, 268; *K*, 271; *C*, 272a; — *L* und *Z*, 274; — Inductor, 269; — Wicklung des Collectors, 270; — Maschinen-Dimensionen und Leistungen, 274; — Glühlicht-Lampe und deren Fabrication, 659; — Wand- und Gelenkarme mit Hahn, 666; — Canalisations-Systeme, 735; — Regulator, 706; — Maschinen-Installation und Strom-Regulirung, 710; — Rheostat, 713; — Verbindung der Haupt- und Hausleitung, 737; — der Haupt- und Zimmerleitung, 738; — Blei-Einschaltungen, 738; — Umschalter, 741; — Sicherheitsschluss, 752.

Edlund, elektromotorische Kraft des Lichtbogens, 398; 401.

Einheiten, mechanische, el. etc., 60, sowie Anhang 899 ff.

Eintheilung der el. Maschinen, 360; 376.

Einzellichter, Stromschema für die Regulirung, 525.

Einzellicht od. getheiltes Licht, 764.

Eisenbahn, el., 857.

Elemente, Normal-, s. Anhang III; — Widerstand der secundären, 886; - Laden d. secundären, 884.

Elektrische Einheiten, 60, sowie Anhang; — Lampen, siehe Bogenlampen; — Licht bei Kohlen verschiedener Richtung, 415; — — Beleuchtung, 764; — Eisenbahn, 857; — Post, 865; — Aufzug, 867; — Vorzüge des el. Lichtes, 786; — Kosten desselben, 794; Gefährlichkeit, 813.

Elektricität, Theorie der Canalisation der, 755.

Elektrodynamische Gesetze, 14.

Elektrodynamometer von *Siemens & Halske*, 70.

Elektromagnet, 1.

Elektromotor, 835.

Elphinstone-Vincent, dynamo-el. Grossmaschinen, 339.

Emission der Licht- und Wärmestrahlen, 686.

Energie, el., 58; — mechanische, 59; — Aequivalenz zwischen mech. und el., 68; — Verlust und Erwärmung von Kupferdrahtleitungen, vgl. Anhang 907; — Verlust durch Leitungswiderstand, 761; — Umsetzung der el. und mechanischen, 842.

Entfernungsströme, 24.

Erwärmung der Maschinen, 207.

Faraday, Induction, 19.

Faure, Elemente, 890.

Faure-Sellon-Volkmar, secundäre Elemente, 891.

Fein, dynamo-el. Maschinen, 212.

Felten & Guilleaume, Lichtleitungen, 732.

Fitzgerald, dyn.-el. Maschine, 225.

Fizeau, Intensit. d. el. Lichtes, 411.

Flammbogen, Temperatur, 395.

Fontaine, el. Kraftübertragung, 844; — Differential-Lampe, 556.

Foucault, el. Lampe, 466; — Ströme, 842; — *& Fizeau*, Vergleich des el. Lichtes mit dem Sonnenlichte, 411.

Fox, Glühlicht-Lampe, 680.

Franklin-Institut, Versuche mit Lichtmaschinen, 456.

Fresnel, Lampe, 410.

Frölich, Dr., Theor. d. el. Masch. 345.

Fuhr, 515.

Fuller-Gramme, Dyn.-Masch., 203.

Digitized by Google

Gaiffe, Kohlenstäbe, 422; 515.
Galvanometer, 72.
Gautherot, Polarisation der Elektroden, 881.
Gaudoin, Kohlenstäbe, 423.
Gérard, el. Lampe, 536.
Getheiltes Licht od. Einzellicht, 764.
Gefährlichkeit des el. Lichtes, 813.
Gewichts- und Widerstands-Tabelle für Kupferdraht, s. Anhang 903.
Girouard, 515.
Gleichung des dynamo-el. Gleichgewichts, 345.
Glühen der Körper, 648.
Glühlicht-Lampe u. Glühlichter mit unvollkommenem Contacte, 634; — *Reynier,* 636; — *Werdermann,* 643; — *Joël,* 645; — mit unvollkommener Leitungsfähigkeit u. grossem Widerstand: *Lontin, King, Lodyguine, Konn* und von *Bouliguine,* 649; — *Edison,* 654; — *Swan,* 669; — *Maxim,* 675; — *Lane Fox & Sawyer,* 680; — Theorie der, 681; — für Bergwerke, 675; — Vergleich zwischen, 688.
Glühlicht mittelst Inductionsrollen, 690.
Godfroy, 515.
Gordon, Wechselstrom-Grossmaschine, 329.
Graff, Kosten der el. Beleuchtung, 802.
Gramme, Stromlauf im Ringe, 33; — Ring, 43; 181; — für Wechselströme, 306; 312; — magnet-el. Maschine für Handbetrieb, 183; — desgl. für Hand-, Fussbetrieb, 186; — desgl. mit Blättermagnet, 188; — dynamo-el. Grossmaschinen für Galvanoplastik, 191; — dynamo-el. Maschine, neues Modell, für el. Licht, 194; — dynamo-el. Lichtmaschine mit zwei Ringen, 197; — el. Maschine für Kraftübertragung, 204; — Vorzüge u. Nachtheile der verschied. *Gramme*-Modelle, 210; — el. Lampe für getheiltes Licht, 531; — Kraftübertragung, 878.
Griscom-Motor, 873.
Gülcher, el. Maschinen, 227; — el. Lampe, 593.
Guilleaume & Felten, Lichtleit., 732.
Hagenbach, Versuche mit dyn.-el. Maschinen, 290; — für Lichtstärke u. Arbeitsverbrauch, 439.
Handbetrieb, Maschine für, von *Gramme,* 186.
Handmaschinen, Anwendung derselben, 816.
Harison, 515.
Hefner-Alteneck (siehe *Siemens-Halske*), dynamo-el. Maschine für continuirliche Ströme, 291; — schematische Darstellung der Entstehung und Sammlung des Stromes, 295; — Differential-Lampe, 547.
Heinrichs, canalisirter Ringanker, 224; — el. Lampe, 628.
Helligkeit des el. Lichtes, 83.
Hollmes, magnet-el. Maschine, 99.
Horn, 515.
Indifferenzpunct d. Magnets, 4.
Inductor, 51; — *Siemens,* 106.
Induction, galvanische, 19; — Gesetze der galv., 20; — s-Rolle, 21; dynamische, 23; — Gesetze derselben von *Lenz,* 23; — s-Wirkung eines Solenoids auf einen Leiter, 25; — s-Strom in dem Inductor, 52.
Influenz, Magnet-, 3.
Incandescenz-Beleuchtung, 634; — siehe Glühlicht-Lampen.
Installation von *Siemens,* 776; — *Jablochkoff,* 607; — *Edison,* 711.
Jablochkoff, Wechselstrom-Maschine, 316; — el. Kerzen, 607; — Kerzen-Installation, 616; — Glühlicht mittelst Inductionsrollen, 690.
Jacquelain, Kohlenstäbe. 421.
Jamin, Blättermagnet, 188, — el. Kerzen, 619.
Jaspar, el. Lampe, 493.
Joël, Glühlampe, 647.
*Joule'*sches Gesetz, 755.
Jürgensen, dyn.-el. Maschine, 276.
Kabath, Accumulatoren, 891.
Kabel für Lichtleitungen von *Felten & Guilleaume,* 732; — *Berthoud, Borel & Cie.,* 728.
Kennedy, Maschine, 390.
Kerzen, el., 603 (vgl. Bogenlampen).
King, Glühlampe, 651.
Klein-Motoren, 872.
Kohlenstäbe, Beschaffenheit und Fabrication derselben, 420; —

Digitized by Google

Carré & Gauduin, 422; — vergleichende Versuche, 426; — metallisirte, 428; — von *Napoli*, 429.
Kohlfürst, Anwendung des Stromes der Dynamo-Maschinen zu telegraphischen Zwecken, 830.
Konn, Glühlampe, 649.
Kosten des el. Lichtes, 794.
Kraftlinien, magnetische, 6.
Kraftfeld, magnetisches, 6; — eines Stromes, 54.
Kraftlinien (magnetische), eines el. Stromes, 55.
Kraftübertragung, el., 733; *Deprez*, in München, 850; — *Deprez*, im Bahnhofe du Nord in Paris und Grenoble, 850; — Anwendungen, 856; — zur Bewegung eines Elevators, 855; — von Pflughaspeln, 855; — el. Eisenbahn, 857.
Kritzik'sche Stäbe, 17; — bei zwei Solenoiden, 18; — *Piette*, Differential-Lampen, 585; — el. Lampe, neues el. Stromschema, 588.
Kröttlinger, 515.
Kuhlo, 515.
Kuhne, 515.
Kuppelung einer Batterie auf Quantität und Intensität 42; — der Dampf- und Dynamo-Maschinen, 272a, 701; — der *Edison*-Maschine, 721.
Kupferdraht, Gewichts- und Widerstands-Tabelle, s. Anhang 903.
***Laboratorium*-Maschine** von *Siemens & Halske*, 238.
Lacassagne & Thiers, Kohlenstäbe, 422; — Stromverzweigung, 521.
Lachaussée, grosse Wechselstrom-Maschine, 326.
Ladd, zweicylindrige Dynamo-Maschine, 145; — Umwandlung der mechanischen Kraft, 128.
Laden der Elemente, 884.
Lampen zur Parallelschaltung, 591 (vgl. Bogenlampen).
Lane Fox, Glühlampe, 680; — Regulator, 708.
Läutewerk von *Siemens*, 109.
Leistungsfähigkeit der dynamo-el. Maschinen von *Siemens*, vgl. Anhang 908.
Leitung, 761.
Leitungsfähigkeit der Metalle, 725.
Leitungswiderstand, 761.
Lenz, Gesetze der dynamischen Induction, 24.
Le Roux, Alliance-Maschine, Theorie derselben, 101.
Lever, el. Lampe, 540.
Licht, Messung, 81; — *Schwendler*, neue Maasseinheit für —messungen, 83; — Glanz des el., 411; —stärke, 81; — nach verschiedenen Richtungen, 418; — graphische Darstellung, 419; — und Arbeitsverbrauch, 434, 458; — Einheiten, 82; —masch., vgl. dynamo-el. Maschine; —bogenlänge, 397; —widerstand und el.-motorische Kraft, 398; — Lampen mit el. Lichtbogen, 462; —leitungen, Kabel, 728; — von *Felten & Guilleaume*, 732; von *Berthoud, Borel & Cie.*, 728; — getheiltes oder Einzellicht, 764; — Vorzüge des el., 786; — el., Kosten desselben, 794; — Gefährlichkeit des el., 813.
Locomotivlampe von *Sedlaczek-Wikulill*, 506.
Lodyguine, Glühlampe, 649.
Lontin, dynamo-el. Maschinen, 283; — Grossmaschinen, 300; — Wechselstrom-Maschine, 301; — Glühlampe, 649.
***Maasssystem*, el., absolutes, 60; — vgl. Anhang.**
Maasseinheiten, Beziehungen zwischen den, 69.
Mackenzie, 515.
Magnetismus, Pole, 2; — remanenter, 3; — Vertheilung, 3; — magn. Feld, 6; — Kraftlinien, 6; — homogener, 10; — wirksamer, 345.
Magnet-Induction nach *Ampère*, 27; — *Siemens*-Inductor, 106.
Magnet-el. Maschinen: *Pixii, Saxton & Clarke*, 92; — *Stöhrer*, 96; — l'Alliance und von *Holmes*, 99; — als Läute-Inductor nach *Siemens*, 108; — *Wilde*, 110; — *Deprez*, 116; — *de Méritens*, 118; magnet- und dynamo-el. Maschinen zur Erzeugung continuirlicher Ströme, 170; — *Niaudet*, 277; — mit separirter Schaltung, 345.

Digitized by Google

Magnet-el. Ring von *Gramme*, 33.
Malderen, van, 100.
Mangin, Projector, 769.
Marius & Egger, 578.
Maschinen, magnet-el., vgl. magnet-el. Maschinen; dynamo-el., vgl. dynamo-el. Maschinen; — Verbindung der, 717; — Schaltung, 718; — Installation von *Edison*, 710.
Maxim, Maschine mit Regulator, 265; — Glühlampe, 676; — Wandarm mit Sicherheitsschluss, 679; —, automatische Strom-Regulirung, 715.
Menges, 515.
Méritens, de, magnet-el. Maschinen, 119; — Ring derselben, 120; — Durchschnitt durch denselben, 121; — Schaltung des Inductors, 121; — neue Maschine, grosses Modell, 124; — Maschine für continuirlichen Strom, 125; — Wicklung bei derselben, 126.
Mersanne, el. Lampe, 533; — mit Zonenreflector, 536.
Messinstrumente und Messmethode, 58.
Metallisirte Kohlen, 428.
Million, 515.
Molt, le, 515; — Kohlenstäbe, 422.
Möhring, dyn.-el. Maschinen, 156.
Morton, Versuche mit Lichtmaschinen, 457; — die *Maxim*'sche Glühlicht-Lampe, 678.
Motor: *Griscom*, 873; — *Deprez*, 872; — *Trouvé*, 872; — *Borel*, 873; — *Bürgin*, 875.
Müller & Lerett, dynamo-el. Maschine zur Erzeugung mehrerer Ströme von verschiedener Intensität, 324.
Müller, Glühlicht-Lampen, 688.
München, Bahnhofs-Beleuchtung, 775.
Näherungsströme, 24.
Napoli, Kohlenfabrication, 429.
Niaudet, magnet-el. Maschine, 278.
Nebenschlusslampen, vgl. Bogenlampen, — Princip derselben, 527; Stromschema, 527.
Nollet, Alliance-Maschine, 100.
Nordpol des Elektromagnets, 2.
Normal-Elemente, vgl. Anhang 901.
Nutzarbeit, 837; — 759.
Ohm, 68; —'sches Gesetz und die el. Maasseinheiten, 67; — nach *Kirchhoff*, 90.
Oeffnungsströme, 21.
Paccinotti, Ringmaschine, 171.
Perry, vgl. *Ayrton*; — *Ampère*-Meter, *Volt*-Meter, 72; Zerstreuungsphotometer, 87.
Pferdestärke, 60.
Photometer, *Bunsen*, 85.
Photometriren nach *Edison*, 86.
Photometrische Messungen des Flammenbogens 409; — Versuche auf Leuchtthürmen 448.
Piette, vgl. *Kritzik*.
Pixii, magnet-el. Maschine, 93.
Planté, secundäre Elemente 881; — Batterie 888.
Polarität eines el. Magnets, 2.
Post, el., 865.
Projector, *Mangin*, 769.
Quirini, Theilung des el. Lichtes, 517.
Rapieff, el. Lampe, 626.
Regulirung des el. Lichtes, 703.
Regulator, vgl. el. Lampe; — *Edison*, 706; — *Weston*, 707; — *Lane Fox*, 708.
Rheostat, 706; *Edison*, 713.
Reynaud, Kosten des el. Lichtes, 797.
Reynier, Installation der Lampen, 643; — Glühlicht, 636; — neues Modell derselben, 641.
Ringanker von *Heinrichs*, 224.
Ringarmatur, 378; — *Gramme*, *Jürgensen*, *Siemens*, *Schuckert*, 380.
Ritter, secundäres Element, 881.
Rotation des *Gramme*'schen Ringes zwischen den Polen eines Magnets, 32; — eines Inductors über denselben, 50.
Roux, vgl. *le Roux*.
Rosetti, Temperatur des Lichtbogens, 396.
Ruhmkorff, 149.
Sawyer, Glühlicht-Lampe, 680.
Sautter-Lemonier, Versuche mit *Carré*'schen Kohlen, 428; — Handlampe, 772.
Saxton, magnet-el. Maschine, 93.
Schaltung der Maschinen, 718.
Scharnweber, 515.
Schiffslampe von *Sedlaczek-Wikulill*, 506.

Digitized by Google

Schmidt, Bogenlampe, 589.
Schuckert, dynamo-el. Flachring-Maschine, 215; — für Galvanoplastik und Kohlenlicht, 220; — Nebenlampe, 505; — Differential-Ringlampe, 582.
Schübeler, Wachsthum der Pflanzen in arktischen Regionen, 793.
Schulze, 515.
Schutzapparate, 746.
Schwendler, Anwendung des Stromes einer dynamo-el. Maschine zu telegraphischen Zwecken, 829; — Widerstand des Lichtbogens, 404; — neue Maasseinheit für Lichtmessungen, 83.
Sedlaczek-Wikulill, Schiffs- und Locomotivlampe, 506.
Secundäres Element, 881; — Strom, 881.
Sellon-Faure-Volkmar, secundäre Elemente, 891.
Selbstthätiger Umschalter, 747.
Separirte Schaltung, 366.
Serrin, el. Lampe, 472.
Sicherheitsschluss, *Weston,* 750; — *Edison,* 752; — für Bogenlampen, 753.
Siemens, W., resp. *Siemens & Halske,* Elektro-Dynamometer, 71; — Torsionsgalvanometer, 77; — Inductor, 106; — magnet-el. Läute-Inductor, 108; — Minenzünder, 141; — zweicylindrige Dynamo-Maschine, 151; — magnet- und dynamo-el. Trommelmaschine, 228; — magnet-el. Trommelmaschine für Kleinbetrieb, 236; — dynamo-el. Trommelmaschine für Grossbetrieb, 240; — Drahtwindungen, 241; — dynamo-el. Maschine, horizontales Modell, 245; — verticales Modell, 246, 247; — für Reinmetall-Gewinnung, 249; — neueste dynamo-el. Maschine für gleichgerichtete und Wechselströme, 322; — Spulenarmatur, 384; — unipolare Maschine, 341; — photometrische Messungen des Lichtbogens, 409; — el. Lampe, 489; — Nebenlampe, 503; — Differential-Lampe, 543; — Umschalter, 748; — el. Eisenbahn, 857; — el. Aufzug, 867; — Klein-Motoren, 870; — Münchener und Anhalter Bahnhof-Beleuchtung, 775, 778; — Kosten des el. Lichtes, 801.
Soleil, el. Lampe, 628.
Solenoid, *Ampère's,* 11; — Anziehung durch Stahlmagnete, 13; — Ströme um einen Doppelpol, 34; — Anziehung auf Eisenstab, 17.
Spannungsverhältnisse am Collector, 389; — am Commutator von *Brush,* 390.
Spannung des Stromes für den Lichtbogen, 405.
Spannung und scheinbarer Widerstand des Lichtbogens nach *Frölich,* Anhang 906.
Staite & Edwards, Kohlen, 422.
Staite & Petrie, 422.
Stahlmagnet, System von galvanischen Strömen, 11.
Stein, Glühlicht zu medicinischen Zwecken, 785.
Stöhrer, magnet-el. Maschine, 97.
Stromcurve von *Frölich,* 351.
Stromeinheiten, vgl. Anhang 901.
Strommesser, *Edison,* 742; — automatischer, 745.
Stromverzweigung, 89; — Gesetz, 89.
Strom-Regulirung von *Edison,* 710; — automatische, von *Hiram Maxim,* 715.
Stromunterbrecher, *Weston,* 739.
Stromschliesser, —öffner, *Weston,* 823.
Stromwärme, 841.
Südpol, 2.
Swan, Glühlichtlampe, 671; — für Bergwerke, 675; — Kosten der el. Beleuchtung, 808.
***Tachometer,** Buss, Sombart & Cie.,* 66.
Talleyrand, 515.
Tchikoleff, Lampe, 579.
Temperatur des Lichtbogens, 396.
Theorie der dynamo-el. Maschinen, — 345, 363; — der Glühlicht-Lampen, 681; — des el. Triebwerkes, 835; — der Canalisation der Elektricität, 755.
Theilung des el. Lichtes, 516, 525.
Thiers, Kohlenstäbe, 422; — Stromverzweigung, 521.
Thomson, Widerstand des Lichtbogens, 404.

Digitized by Google

Thomson-Houston, Widerstand des Lichtbogens, 404.
Tissandier, Versuche mit secundären Elementen, 872, 894.
Torsions-Galvanometer, *Siemens & Halske*, 76.
Tourenzähler, 66.
Tresca, Lichtstärke im el. Bogen, 408, 409; — Versuche über das Verhältniss zwischen Arbeitsaufwand und Lichtstärke, 436.
Triebwerk, Theorie des el., 835; —slänge, 844.
Trommel-Maschine, *Siemens & Halske*, 228; — Schema der Drahtwindung von *Hefner-Alteneck*, 230.
Trommel-Armatur von *Siemens*, *Lontin*, *Edison* u. A., 383.
Trouvé, Klein-Motoren, 872; — vgl. *Tissandier*.
Tyndall, vergleichende Versuche mit verschiedenen Lichtmaschinen, 446.
Uebertragung der Kraft, 833.
Umschalter von *Edison*, 741; — selbstthätiger, 747; — *Siemens & Halske*, 747.
Umsetzung von mechanischer in el. Energie, 842.
Unipolare Maschine von *Siemens & Halske*, 341.
Uppenborn, die Maschine von *Fitzgerald*, 226; — die Gefährlichkeit des el. Lichtes, 814.
Van Malderen, Alliance-Maschinen, 101.
Varley, Glühlicht mittelst Inductionsrollen, 690.
Verbindung der Maschinen, 717; — der Haupt- und Hausleitung, 737.
Vergleichung der magnet- und dynamo-el. Lichtmaschinen, 358, 694; — der Beleuchtungskosten von *Decker*, 812.
Versuche auf der el. Ausstellung in Paris, 458.
Vertheilung, magnetische, 3.
Volt, 68; —Meter, 72.
Volta'scher Lichtbogen, 391; — Bild des Lichtbogens, 393.
Volkmar-Faure-Sellon, Accumulatoren, 891.
Vorzüge des el. Lichtes, 786.
Wagen, el., nach *Siemens*, 860.
Wallace-Farmer, Lichtmaschine, 280, 282; — Inductor, 281; — el. Lampe, 512; — *Farmer*, dynamo-el. Maschine, 280.
Wartmann, Unterbrechung des Lichtbogens, 400.
Wechselstrom-Maschinen, zur Erzeugung von Partialströmen, 298; — vgl. dynamo-el. Maschinen.
Weise, Anwendung des el. Glühlichtes zu medicinischen Zwecken, 785.
Werdermann, Glühlicht-Lampe, 635.
Weston, dynamo-el. Maschine für galvanoplastische Arbeiten, 153; — (*Möhring*), Lichtmaschine, 251; — neue Lichtmaschine, 254; — Armatur, 255; — grosse Lichtmaschine, 256; — Inductor und Collector, 258, 262; — Diagramme der Wicklung, 259; — neue Montirung, 264; — Doppellampe, 563; — neue Bogenlampe, 566; — Stromlauf- und Regulirungs-Mechanismus, 558; — dynamo-el. Maschine, 568; — *Ampère*-Meter, 704; — Regulator, 707; — Stromunterbrecher, 739; — Sicherheitsschluss, 751; — Stromschliesser und —öffner, 823.
Wheastone, dynamo-el. Maschine, 134.
Widerstandskasten, *Edison*, 706; — *Weston*, 707.
Widerstandseinheiten, willkürliche, vgl. Anhang 901.
Widerstand und elektromotorische Kraft des Lichtbogens, 404.
Wikulill, 506.
Wilde, magnet-el. Maschine, 110.
Wiley, Studien über Kohlen, 429.
Wirksamer Magnetismus, 345, 354.
Zerstreuungs-Photometer, *Ayrton & Perry*, 88.
Zweigströme, 89, 521.

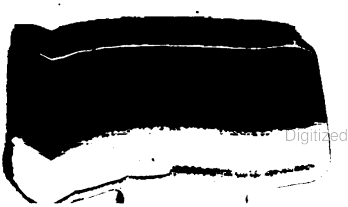
Digitized by Google

Digitized by Google

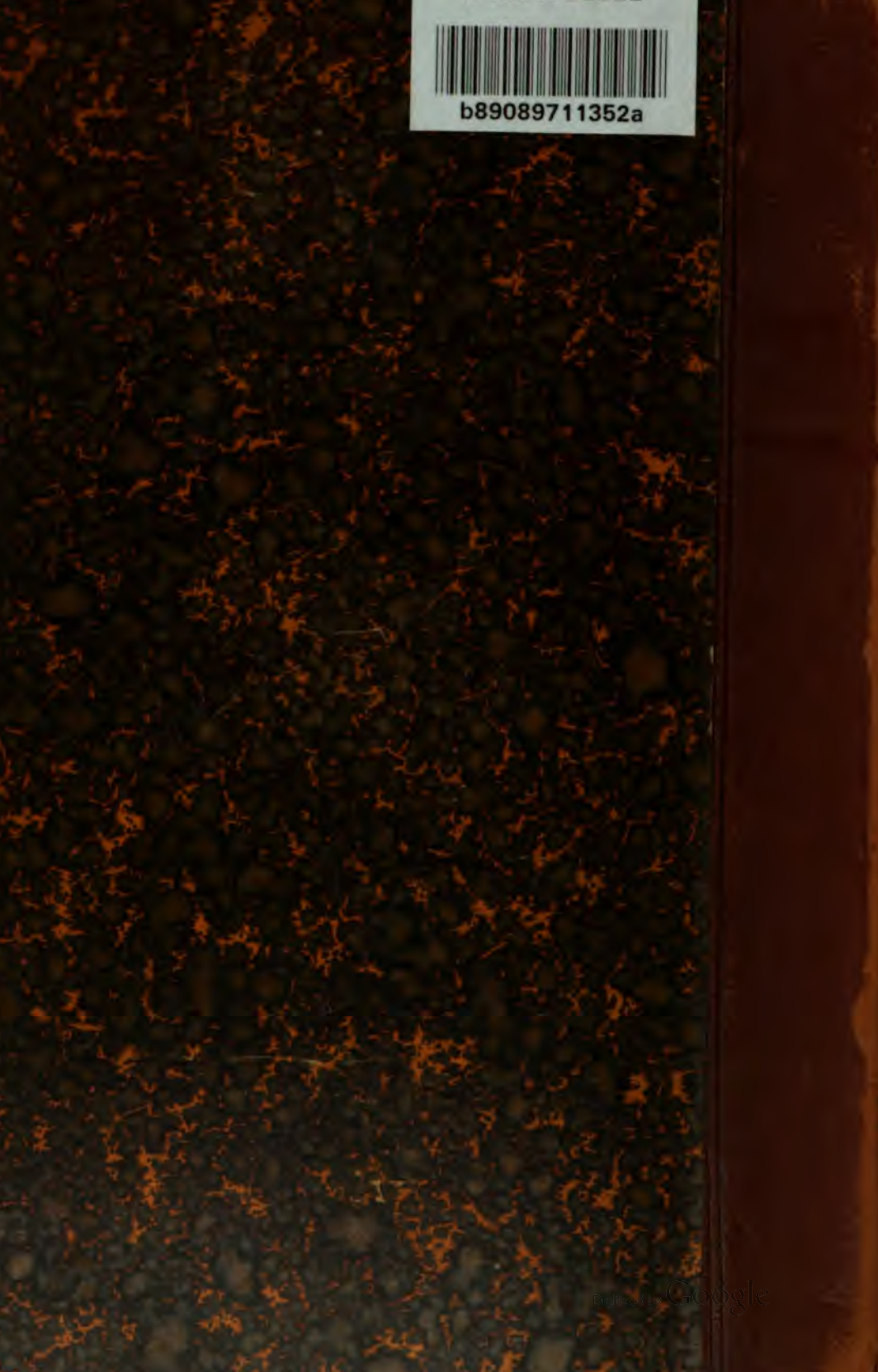
89089711352

B89089711352A

Digitized by Google



Digitized by Google


b89089711352a
Digitized by Google